

# **KREATIININ KÄYTÖN VAIKUTUKSET AITAHYPPELY- KUORMITUKSEN JÄLKEISEEN LIHASVAURIOON**

Juha-Pekka Kulmala

Kandidaatin tutkielma

Liikuntafysiologia

Kevät 2008

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaaja: Antti Mero

# TIIVISTELMÄ

*Juha-Pekka Kulmala. 2008. Kreatiinin käytön vaikutukset aitahyppelykuormituksen jälkeiseen lihasvaurioon. Liikuntafysiologian kandidaatin tutkielma. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto. 38 s., 1 liite*

Kreatiini on yksi suosituimmista lisäravinteista ja sen vaikutukset suorituskykyyn ja kehon koostumukseen tiedetään tarkasti. Kreatiinin vaikutuksista lihasvaurioon on sen sijaan varsin vähän tietoa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, vähentääkö kreatiinin käyttö aitahyppelykuormituksen jälkeistä lihasvauriota.

Koehenkilöinä oli neljä liikunnallisesti aktiivista miestä (ikä  $25,5 \pm 1$  v., pituus  $178 \pm 5$  cm, paino  $75,8 \pm 8,4$  kg). Tutkimuksessa käytettiin sokkoutettua ristikkäiskoeasetelmaa, jossa kaksi koehenkilöä nauttivat ensin viisi vuorokautta kreatiinia (20 g/vrk) ja kaksi henkilöä saman määrän placeboaine. Tämän jälkeen pidettiin kuukauden mittainen huuhtoutumisjakso, jonka jälkeen ryhmien osat vaihtuivat. Viiden vuorokauden lisäravinnejakson jälkeen koehenkilöt tekivät aitahyppelykuormituksen (3x50 aittaa) lihasvaurioiden aikaansaamiseksi. Ennen aitahyppelyä sekä heti, 0,5 tuntia ja 48 tuntia aitahyppelyn jälkeen suoritettiin mittaukset, joissa tarkasteltavia suorituskykymuuttujia olivat reaktiivisuushyppelyn teho, kevennyshypyn korkeus sekä jalkojen ojentajalihasien isometrinen maksimivoima. Laskimoverinäytteistä määritettiin veren kreatiinikinaasin (CK) aktiivisuus sekä sormenpääverinäytteestä veren laktaattipitoisuus. Lisäksi määritettiin väsymystä ja jalkojen lihasarkuutta subjektiivisten tuntemusten avulla sekä mitattiin kehon paino ja koostumus bioimpedanssilaitteella ja rasvapihdeillä. Tulosten tilastollinen analysointi suoritettiin SPSS 15.0 -ohjelmalla käyttäen toistettujen mittausten varianssianalyysiä.

Reaktiivisuushyppelyn teho verrattuna aitahyppelyä edeltäneeseen tilanteeseen aleni heti kuormituksen jälkeen placeboryhmällä 16 % ( $p < 0.05$ ) ja 0,5 tunnin kohdalla 13 % ( $p < 0.01$ ). Kreatiiniryhmällä teho aleni heti kuormituksen jälkeen 13 % ja 0,5 tunnin kohdalla 7 %. Parannusta 0,5 tunnin testistä viimeiseen 48 tunnin testiin tapahtui placeboryhmällä kreatiiniryhmää enemmän (13 % vs. 3 %,  $p < 0.05$ ). Kevennyshypyssä, isometrisessä maksimivoimassa sekä veren CK-aktiivisuudessa ei tapahtunut muutoksia eri mittausten eikä ryhmien välillä. Veren laktaattipitoisuus heti kuormituksen jälkeen oli placeboryhmällä 18% korkeampi (4,7 vs. 3,8 mmol/l) verrattuna kreatiiniryhmään, mutta tulos ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Väsymyksen tunne asteikolla 0-6 mitattuna kasvoi heti kuormituksen jälkeen perustasosta sekä kreatiiniryhmällä  $0,75 \rightarrow 3,5$  ( $p < 0.01$ ) että placeboryhmällä  $1 \rightarrow 3,25$  ( $p < 0.05$ ). Jalkojen kivuntuntemus asteikolla 0-6 heti kuormituksen jälkeen lisääntyi kreatiiniryhmällä  $0,25 \rightarrow 1,5$  ( $p < 0.05$ ) ja pysyi samalla tasolla sekä 0,5 h ( $p < 0,05$ ) että 48 h kohdalla. Placeboryhmällä jalkojen lihasarkuus nousi heti kuormituksen jälkeen  $0,25 \rightarrow 1,75$  ( $p < 0,05$ ) ja oli 0,5 h kohdalla 1,5 ( $p < 0,05$ ) ja 48 h kohdalla 1,25. Ryhmien välillä ei ollut eroja väsymyksen eikä lihasarkuuden tuntemuksessa. Kehon paino nousi kreatiiniryhmällä merkitsevästi viiden vuorokauden jakson aikana  $75,8 \text{ kg} \rightarrow 77,4 \text{ kg}$ , ( $p < 0.05$ ). Kehon koostumuksessa ei havaittu muutoksia.

Tämän tutkimuksen perusteella viiden vuorokauden kreatiinilataus lisää kehon painoa ja saattaa vähentää laktaatin tuottoa intensiivisessä urheilusuorituksessa. Kreatiinin vaikutuksista lihasvaurioihin ei voida tehdä johtopäätöksiä niiden vähyydestä johtuen.

Avaisanat: kreatiini, lihasvaurio, CK, laktaatti, DOMS, kehon paino

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO.....	5
2	KREATIININ FYSIOLOGIA, KÄYTTÖ JA HYÖDYT.....	6
2.1	Kreatiinin fysiologia.....	6
2.1.1	Kreatiinin synteesi ja varastoiminen.....	6
2.1.2	Kreatiinin tehtävä elimistössä.....	7
2.2	Kreatiinin käyttäminen .....	8
2.2.1	Annostelu.....	8
2.2.2	Muiden aineiden vaikutus imeytymiseen.....	9
2.3	Kreatiinin vaikutukset suorituskykyyn ja kehon koostumukseen.....	10
2.3.1	Suorituskyky.....	11
2.3.2	Kehon koostumus.....	12
3	LIHASVAURIO JA LIHASARKUUS.....	13
3.1	Kuormituksen jälkeinen hermo-lihasjärjestelmän väsyminen.....	13
3.2	Lihavaurion syntymekanismit ja lihasarkuus.....	14
3.3	Arviointimenetelmät.....	16
3.4	Kreatiinin vaikutus lihasvaurioon .....	17
4	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT.....	19
5	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	20
5.1	Koehenkilöt.....	20
5.2	Koeasetelma.....	20
5.3	Testijakson kulku.....	21
5.4	Aineiston keräys ja analysointi.....	22

5.5 Tilastolliset menetelmät.....	23
6 TULOKSET.....	24
6.1 Suorituskykymuuttujat.....	24
6.2 Veren kreatiini­k­inaasi ja laktaatti.....	25
6.3 Subjektii­v­iset tuntemukset.....	27
6.4 Kehon paino ja koostumus.....	28
7 POHDINTA.....	29
LÄHTEET.....	33
LIITE.....	38

# 1 JOHDANTO

Kreatiini on yksi suosituimmista lisäravinteista. Sitä on saatavissa monessa eri muodossa, kuten jauheena, tabletteina ja kapseleina. Perustana suosiolle ovat useat tutkimukset, jotka ovat osoittaneet kreatiinin parantavan suorituskykyä, varsinkin intensiivisissä lyhytkestoisissa suorituksissa. (Bemben ym. 2005). Kreatiinin käytöllä ei ole todettu olevan haittavaikutuksia (Kreider ym. 2003).

Kreatiini on aine, jolla on tärkeä rooli lihasten energia-aineenvaihdunnassa. Suurin osa elimistön kreatiinista sijaitsee luurankolihasissa joko vapaana kreatiinina (Kr) tai kreatiinifosfaattina (KP). Lihasten välitön ja ainoa energianlähde on adenosiinitrifosfaatti (ATP), jonka varastot lihaksissa ovat pienet. Kreatiinista muodostettavan KP:n avulla pystytään muodostamaan ATP:tä uudelleen. Kreatiinin käytön avulla pyritään nostamaan lihaksen Kr ja KP varastoja ja siten parantamaan ATP:n uudismuodostumista anaerobisessa suorituksessa. (McArdle ym. 2001.)

Kreatiinin käytön vaikutukset suorituskykyyn ja kehon koostumukseen ovat varsin laajasti tutkittuja, mutta vaikutuksia suorituksen jälkeiseen lihasvaurioon on tutkittu vähän. Kovissa eksentrisissä kuormituksessa sekä lihassolun sisäisiin rakenteisiin sekä solukalvoon tulee usein mikroaurioita, jotka johtavat voimantuoton alenemiseen ja ns. viivästyneeseen lihasarkuuteen (DOMS) (Fridren ym. 1992). Kreatiinifosfaatin tiedetään pysyvän kiinnittymään polaarisiin fosfolibideihin lihassolujen kalvorakenteissa, jolla saattaa olla solukalvoa stabiloiva vaikutus. Lisäksi kreatiinin aikaansaama lihassolun KP-varastojen suureneminen saattaa suojata hypoksian aiheuttamalta soluvauriolta. (Saks ym. 1993.)

Teoriassa kreatiinin lihassolukalvoa stabiloivalla vaikutuksella sekä lisääntyneellä fosforylaatiopotentiaalilla voisi olla lihassoluvaurioita vähentävä vaikutus intensiivisessä urheilusuorituksessa. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, vähentääkö kreatiinin käyttö aitaohjaukseen kuormituksen jälkeistä lihasvauriota.

## **2 KREATIININ FYSIOLOGIA, KÄYTTÖ JA HYÖDYT**

### **2.1 Kreatiinin fysiologia**

Kreatiini on kolmesta aminohaposta muodostuva yhdiste. Aikuisessa ihmisessä kreatiinia on 120-140 g, josta suurin osa luurankolihasissa. Elimistön lihasaineenvaihdunnassa hajoaa noin 2 g kreatiinia vuorokaudessa kreatiniiniksi, joka poistuu elimistöstä virtsan mukana. (Bemben ym. 2005.) Elimistön oman synteessin lisäksi kreatiinia saadaan ravinnosta. Liha, kana, kala ja riisi sisältävät runsaasti kreatiinia (n. 4-5 g/kg). Kasvisruokavaliota noudattavilla kreatiinin saanti ruoasta on niukkaa. (Balsom ym. 1994.)

#### **2.1.1 Kreatiinin synteesi ja varastoiminen**

Elimistö pystyy muodostamaan kreatiinia noin gramman vuorokaudessa kolmesta eivälttämättömästä aminohaposta: arginiinista, glysiinistä ja metioniinista. Synteesi tapahtuu munuaisissa, maksassa ja haimassa. (Clark 1997.) Synteessin ansiosta kreatiinin saanti ravinnosta ei ole välttämätöntä, mutta poistuman (2g/vrk) korvaamiseksi kreatiinin saanti ravinnosta on kuitenkin tärkeää. (Balsom ym. 1994.)

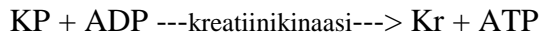
Kreatiinista 95 % varastoidaan luurankolihasiin, joiden kreatiinista noin 40 % on vapaana kreatiinina (Kr) ja noin 60 % kreatiinikinaasientsyymin (CK) fosforoimana kreatiinifosfaattina (KP). Keskimääräinen luurankolihasen kreatiinikonsentraatio kuivaa lihamassaa kohti on 125mmol/kg, mutta voi vaihdella 90-160 mmol/kg välillä. (Hultman ym. 1996) Lihassolutyyppi vaikuttaa siten, että tyypin II soluissa KP-pitoisuus on yleensä suurempi kuin tyypin I soluissa (Casey ym. 1996).

#### **2.1.2 Kreatiinin tehtävä elimistössä**

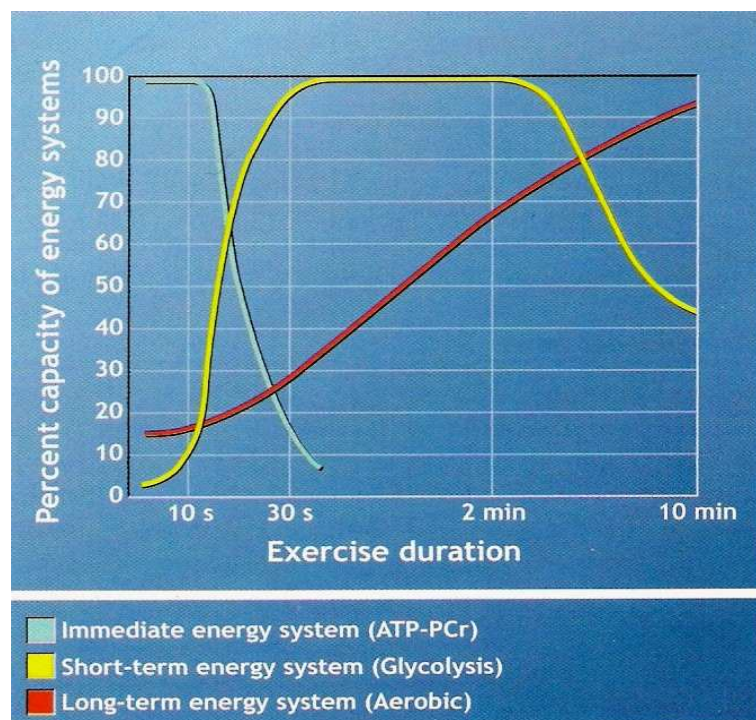
Lihasten välitön ja ainoa energianlähde on adenosiinitrifosfaatti (ATP), josta muodostetaan energiaa seuraavan reaktio avulla:



ATP-varastot riittävät kuitenkin vain pari sekunniksi, minkä jälkeen uutta ATP:tä muodostetaan adenosiinidifosfaatista (ADP) kaikkein nopeimmin anaerobisesti KP:n avulla:



KP-varastot riittävät uudismuodostukseen noin 10 sekunniksi. Niiden suurin merkitys onkin lyhytkestoisissa kovatehoisissa suorituksissa. KP:n lisäksi nopeassa uudismuodostuksessa hyödynnetään anaerobista glykolyysiä. Pitkäkestoisissa ja matalatehoisissa suorituksessa ATP:tä muodostetaan uudelleen lähinnä aerobisesti hiilihydraattien ja rasvojen oksidaatioissa mitokondrioissa. Tämä on kuitenkin hidasta, joten korkeatehoisissa suorituksissa energiaa ei saada käyttöön tarpeeksi nopeasti. Kuvassa 1 on kuvattu eri energiantuottomekanismien osuudet energian muodostuksessa maksimaalisen suorituksen aikana. (McArdle ym. 2001.)



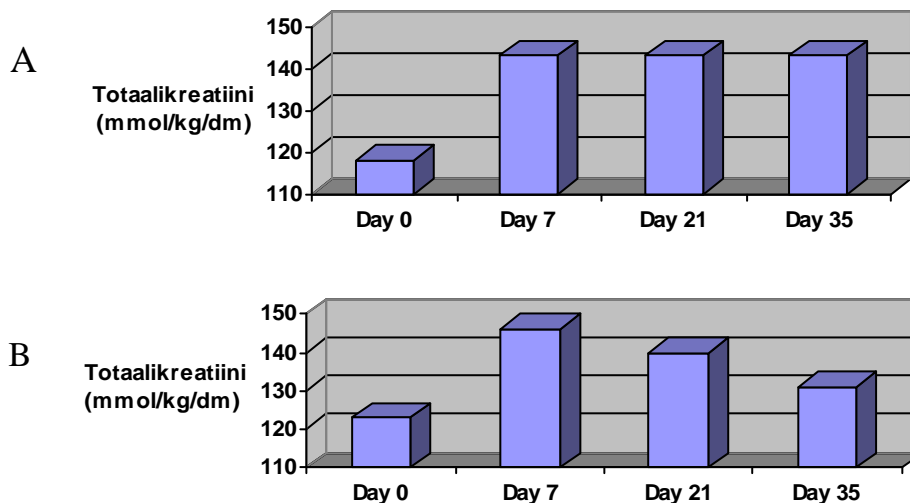
KUVA 1. Eri mekanismien osuudet energiantuotosta maksimaalisen suorituksen aikana (McArdle ym. 2001).

## 2.2 Kreatiinin käyttäminen

Kreatiinin käytön avulla pyritään nostamaan lihaksen Kr- ja KP-varastoja ja täten lisäämään ATP:n uudismuodostumista anaerobisessa suorituksessa. Kreatiinia voidaan käyttää jauheena, tabletteina ja kapseleina. (MacArdle ym. 2001)

### 2.2.1 Annostelu

Kreatiinipitoisuus lihaksissa nousee nopeimmin, kun kreatiinia nautitaan 20-30 g päivässä 5-7 vuorokauden ajan. Tätä kutsutaan tankkausvaiheeksi tai latausvaiheeksi. Pienemmillä annoksilla kreatiinipitoisuuden nousu lihaksissa on hitaampaa ja maksimaalisen tason saavuttaminen annostuksella 3 g/vrk kestää noin kuukauden. Suurin kreatiinipitoisuuden nousu lihaksissa tapahtuu ihmisillä, joiden ruokavalio koostuu pääasiassa kasviksista, koska heidän lihasten kreatiinipitoisuus on yleensä alhaisempi. Ylläpito-vaiheessa 2 g/vrk riittää pitämään kreatiinipitoisuuden saavutetulla tasolla (kuva 2 A). Jos kreatiinin käyttö lopetetaan tankkausvaiheen jälkeen, kreatiinipitoisuus lihaksissa laskee kuvan 2 B mukaisesti. (Hultman ym 1996.)



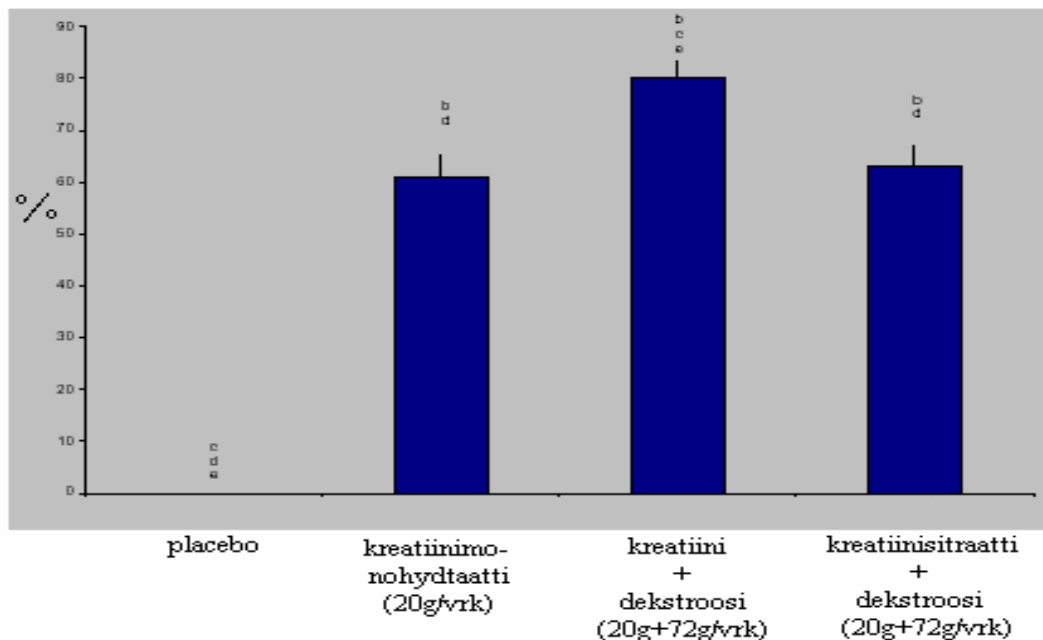
KUVA 2. A) Kuuden päivän kreatiinilatauksen (20 g/vrk) ja sitä seuraavan ylläpitoannostuksen (2 g/vrk) vaikutus lihaksen kreatiinipitoisuuteen. B) Kuuden päivän kreatiinitankkauksen (20 g/vrk) vaikutus lihaksen kreatiinipitoisuuteen. Tankkauksen jälkeen käyttö lopetettiin. (Mukaeltu lähteestä Hultman ym. 1996.)



## 2.2.2 Muiden aineiden vaikutus

Hiilihydraatin (dekstroosi) samanaikainen nauttaminen kreatiinin kanssa näyttäisi lisäävän kehon kreatiinipitoisuutta verrattuna pelkkään kreatiinin (kreatiinimonohydraatti) nauttamiseen (kuva 3). Tämän uskotaan johtuvan hiilihydraatin aiheuttamasta insuliinipitoisuuden lisäyksestä veressä, joka luultavasti parantaa kreatiinin kuljetusta lihassoluun. Kreatiinin ja sitruunahapon (kreatiinisitraatti) yhdiste nautittuna hiilihydraatin (dekstroosi) ei kuitenkaan nostanut kehon kreatiinipitoisuutta pelkkää kreatiinimonohydraattia korkeammalle tasolle. (Greenwood ym. 2003.)

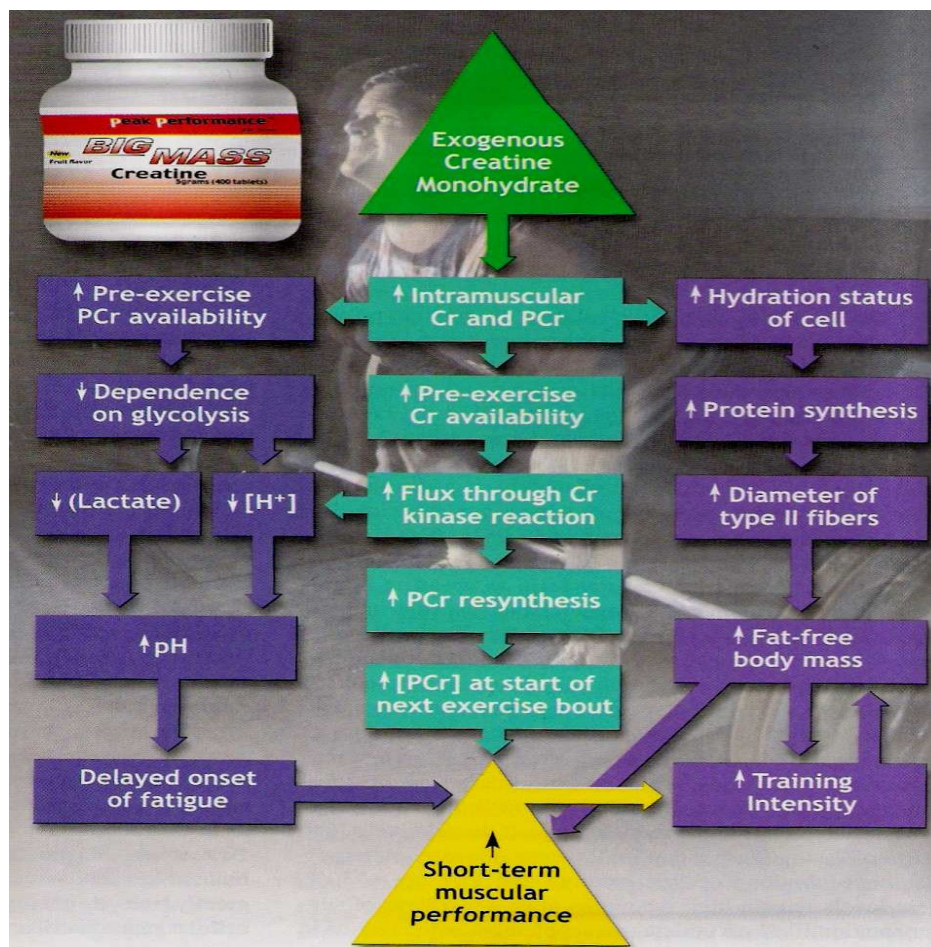
Vandenberghen ym. (1996) tutkimuksessa kofeiinin samanaikainen nauttaminen kreatiinilatauksen aikana näyttöisi kumoavan kreatiinin suorituskykyä parantavan vaikutuksen maksimaalisessa intervallityyppisessä isokineettisessä polvenojennussuorituksessa. Sen sijaan Doherty (2002) ym. tutkimuksessa kreatiinilatauksen lisäksi nautittu kertaannos kofeiinia 1 h ennen suoritusta lisäsi merkittävästi suoritusaikaa (22 sek.) uupumukseen asti tehdyssä juoksutestissä intensiteetillä 125 % VO<sub>2</sub>max. Tässä tutkimuksessa pelkkä kreatiinilataus ei parantanut suorituskykyä.



KUVA 3. Prosentuaalinen kehon kreatiinipitoisuuden lisäys kolmen päivän kreatiinilatauksen jälkeen neljällä eri ryhmällä (Mukaeltu lähteestä Greenwood ym. 2003).

## 2.3 Vaikutukset suorituskykyyn ja kehon koostumukseen

Kreatiinilatauksen suorituskykyä lisäävä vaikutus johtunee sekä KP:n että vapaan kreatiinin lisääntyneestä konsentraatiosta lihaksessa. Tämän uskotaan saavan aikaan nopeamman ja pidempi kestoisen maitohapottoman ATP:n uudismuodostumisen suorituksen aikana. (Clark 1997.) Safdar ym. (2008) tutkimuksessa kreatiinilatauksen todettiin aiheuttavan merkittäviä muutoksia lihassolun toiminnassa. Kreatiinilataus sai aikaan mm. geenien lähetti-RNA pitoisuuden lisääntymistä, nopeampaa solun tukirangan uudelleen muodostumista, muutoksia proteiini- ja glykogeenisynteesissä sekä sateliittisolujen lisääntymistä. Tutkijoiden mukaan edellä mainitut mekanismit saavat aikaan kreatiinin lihasvoimaa ja -tehoa sekä rasvatonta kehon painoa ja nestemäärää lisäävät vaikutukset. (Safdar ym. 2008.) Kreatiinilatauksen mahdolliset mekanismit ja hyödyt on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Kreatiinilatauksen hyödyt ja taustalla mahdollisesti olevat mekanismit (McArdle ym. 2001).

### 2.3.1 Suorituskyky

Kreatiinin myönteisistä vaikutuksista suorituskykyyn on paljon näyttöä. McArdle ym. (2001) mukaan kreatiinin käytöllä saattaa olla seuraavanlaisia positiivisia vaikutuksia: (1) suorituskyvyn paraneminen lihasvoimaa ja -tehoa vaativissa suorituksissa, (2) parempi kestävyys ja suorituskyky toistuvissa lyhytaikaisissa suorituksissa, (3) lisääntynyt harjoitusintensiivisyys ja siten suurempi harjoitusvaste.

*Lyhytkestoisessa suorituksessa* kreatiinista on tutkimusten mukaan eniten hyötyä. Kuormitusten ollessa toistuvia, lyhytkestoisia ja kovaa tehoa vaativia, hyöty on suurimmillaan. Yksittäiseen suoritukseen/toistoon vaikutus ei näyttäisi olevan niin suuri, vaikkakin joissain tutkimuksissa myös yksittäisen suorituksen voimantuotto on noussut. (mm. Bemben ym. 2005.) Volek ym. (1999) raportoivat tutkimuksessaan 12 viikon voimaharjoittelujakson aikana kreatiiniryhmän merkittävästä suorituskyvyn lisäyksestä penkkipunnerruksessa ja jalkakyykyssä verrattuna placeboryhmään. Kreatiiniryhmän tulokset jakson aikana olivat nousseet penkkipunnerruksessa 24 % ja jalkakyykyssä 32 %, kun verrokkiryhmällä vastaava parannus oli 16 % ja 24 %. Watsford ym. (2003) havaitsivat kreatiinilautauksen vaikuttavan positiivisesti maksimitehoon ja vertikaalihypyn korkeuteen. Vertikaalihypyn korkeus nousi sekä kevennyshypyssä (40.2 +/- 4.8 cm → 42.7 +/- 5.9 cm), että pudotushypyssä 20 cm korkeudelta (32.3 +/- 3.3 cm → 35.1 +/- 4.8 cm).

*Pitkäkestoisissa suorituksissa* kreatiinin hyödyistä suorituskykyyn on olemassa hyvin vähän näyttöä. Pitkäkestoisessa submaksimaalisessa suorituksessa ATP:n uudismuodotus tapahtuu lähinnä aerobisesti mitokondrioissa. Tällöin hiilihydraatit ja rasvat ovat etusijalla energian tuotossa ja KP:n merkitys energian tuotossa vähenee. (McArdle ym. 2001.) Alle 2-3 minuutin kestoisissa suorituksissa on kuitenkin olemassa jonkun verran tutkimuksia, joissa kreatiini on lisännyt suorituskykyä (Bemben ym. 2005).

Aina kreatiinin käytöstä ei ole ollut kuitenkaan hyötyä lyhytkestoisissakaan suorituksissa (mm. Tarnopolsky ym. 2001, Syrotuik ym. 2000). Suorituskyky ei näyttäisi paranevan, jos kreatiinilataus ei saa aikaan lihaksen KP-pitoisuuden nousua (Mujika ym. 2000). Greenhaff ym. (1993) tutkimuksessa kreatiinilataus lisäsi lihaksen KP-pitoisuutta noin 70 %:lla koehenkilöistä. Lisäksi lajispesifisyyttä vaativissa suorituksissa (uinti,

juoksu) kreatiinin aikaansaamat ergogeeniset muutokset eivät välttämättä paranna suorituskykyä (McArdle ym. 2001).

### **2.3.2 Kehon koostumus**

Kreatiinin käytöllä on yleensä rasvatonta kehon massaa lisäävä vaikutus. Tämä johtunee pääasiassa kasvaneiden kreatiinivarastojen aiheuttamasta osmoottisesta voimasta, minkä vaikutuksesta solun sisäisen nesteiden määrä lisääntyy (Mihic ym. 2000). Lisäksi kreatiinin käyttö erityisesti voimaharjoittelun yhteydessä saattaa edistää lihaskudoksen kasvua mikä myös lisää rasvatonta kehon massaa. Lihaskudoksen kasvun taustalla voivat olla lisääntyneen harjoitusintensiteetin synnyttämä suurempi harjoitusvaste, kreatiinin aiheuttama lisääntynyt proteiinisynteesi tai vähentynyt proteiinikatabolia. (Juhn ym. 1998.)

Volek ym. (1999) raportoivat kehon painon sekä rasvattoman kehon painon nousseen 6,3 % kolmen kuukauden kreatiinin käytön ja voimaharjoittelun seurauksena. Placeboryhmällä lisäystä oli noin puolet vähemmän. Lisäksi lihassolun poikkipinta-ala kasvoi kreatiiniryhmällä enemmän verrattuna placeboryhmään (tyyppi I: 35 % vs. 11 %, tyyppi IIa: 36 % vs. 15 % ja tyyppi IIb: 35 % vs. 6 %). Powers ym. (2003) tekemässä tutkimuksessa viikon kreatiinilatauksen (25 g/vrk) ja kolme viikon ylläpitovaiheen (5 g/vrk) vaikutuksesta kehon kokonaisvesimäärä lisääntyi 41,98 litrasta 44,02 litraan. Solunsisäisen ja -ulkoisen nesteiden suhde pysyi samana.

### 3 LIHASVAURIO JA LIHASARKUUS

Raskas kuormitus johtaa usein suorituskyvyn alenemiseen, lihassolujen mikrovaurioihin sekä lihasten kipeytymiseen (Frieden ym. 1992). Palautuminen raskaasta kuormituksesta kestää useita päiviä. Lihaksen glykogeenivarastot voivat olla alentuneita vielä kaksi päivää raskaan eksentrisen kuormituksen jälkeen (Asp ym. 1998). Hermoston ja lihaskiveliöiden palautuminen voi kestää 4-8 vuorokautta (Nicol ym. 2006).

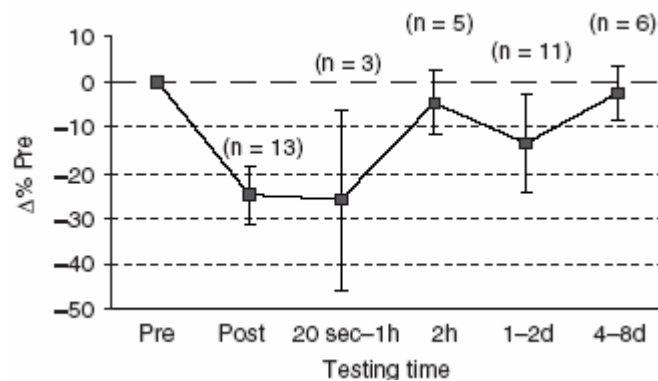
#### 3.1 Kuormituksen jälkeinen hermo-lihasjärjestelmän väsyminen

Maksimaalisessa suorituksessa hermo-lihasjärjestelmän väsyminen alkaa heti suorituksen alettua ja se nähdään voimantuoton heikkenemisenä. Submaksimaalisessa suorituksessa väsymisellä tarkoitetaan tilannetta, jossa tiettyä voimatasoa ei pystytä enää ylläpitämään (Gandevia ym. 1995.) Hermo-lihasjärjestelmän väsymisellä voidaan tarkoittaa maksimaalisen voimantuotokapasiteetin heikkenemisen lisäksi myös kykenemättömyyttä tuottaa maksimaalista tehoa tietyssä suorituksessa. Hermolihasjärjestelmän väsyminen voidaan jakaa sentraaliseen ja perifeeriseen väsymiseen. (Vollestad 1997.)

*Sentraalinen väsyminen* tarkoittaa heikentyneitä neuraalista ohjausta, jonka seurauksena lihaksen aktivointi ei ole täydellistä. Sentraalisen väsymisen sijaintipaikat ovat: (1) motorinen aivokuori, (2) alfamotoneuroniallas ja motorinen hermo ja (3) hermo-lihasliitos. (Vollestad 1997.) Sentraalinen väsyminen voidaan todeta, mikäli keinotekoinen vaste (sähköstimulaatio) lisää maksimaalista tahdonalaista voimantuottoa. (Byrne ym. 2004).

*Perifeerinen väsyminen* tarkoittaa lihassolun alentunutta supistumiskykyä heikentyneen ärsytys-supistumiskoplauksen johdosta. Perifeerisen väsymisen mahdollisia syitä ovat: (1) heikentynyt lihassolukalvon ärsyyntyminen, (2) vähentynyt  $\text{Ca}^{2+}$  vapautuminen, (3) huonontunut  $\text{Ca}^{2+}$  kiinnittyminen troponiiniin, (4) heikentynyt poikittaissiltojen kiinnittyminen ja (5) vähentynyt ATP:n kulutus ja uudismuodostus. Perifeerinen väsyminen voidaan havaita lihaksen heikentyneenä voimantuottona mm. lihas-twitchin tai matalataajuus stimulaation avulla. (Vollestad 1997.)

Palautuminen raskaasta kuormituksesta on usein kaksivaiheinen. Suorituksen jälkeinen välitön hermo-lihasjärjestelmän väsyminen ja suorituskyvyn lasku liittyvät pääasiassa lihassolun metabolisiin muutoksiin, kuten mm.  $H^+$ , Pi, ADP ja AMP lisääntymiseen sekä samanaikaiseen ATP:n ja KP:n vähenemiseen. (Nagesser ym. 1993.) Energiavarastot palautuvat ainakin osittain 1-2 tunnin kuluessa harjoituksen päätyttyä, mikä nähdään suorituskyvyn palautumisena. Kuitenkin eksentrisen, kuten esim. venymis-lyhenemis-tyyppisen kuormituksen jälkeen palautuminen on vain väliaikaista, ja toinen suorituskyvyn lasku nähdään usein pari päivää suorituksen jälkeen (Nicol ym. 2006.) (kuva 5). Toinen lasku suorituskyvyssä johtunee eksentrisen kuormituksen aiheuttamista lihasvaurioista ja niiden synnyttämästä tulehdustilasta. Tällöin voidaan havaita mm. lisääntynyttä fagosyyttien aktiivisuutta kuormitetussa lihaksessa. (Raastad ym. 2000.)



KUVA 5. Keskimääräinen maksimaalinen voimantuotto (MVC) venymis-lyhenimisyyklus -tyyppisen kuormituksen jälkeen useissa eri tutkimuksissa. Tutkimusten määrä (n) eri kohdissa vaihteli 3-13 välillä kuvan mukaisesti. (Nicol ym. 2006.)

### 3.2 Lihasvaurioiden syntymekanismit ja lihasarkuus

Lihasvaurioita syntyy raskaassa kuormituksessa, jossa lihassoluun kohdistuu suuria voimia. Lihaksen mikroauriot eivät ole kuitenkaan pysyviä vaan ne korjautuvat jonkin ajan kuluessa. Korjautumisprosessin ansiosta lihas ei ole yhtä herkkä vaurioille, jos samanlainen kuormitus toistetaan. (Byrnes ym. 1989.)

Lihavaurioiden synnylle on esitetty useita mekanismeja: 1) häiriö metabolisessa toiminnassa (Amstrong 1984), 2) häiriö kalsiumhomeostaasissa (Baracos ym. 1986) ja 3) solun mekaaninen vaurioituminen (Friden ym. 1983).

Lihassolun mikrovauriot saattavat syntyä metabolisten häiriöiden, kuten hypoksian ja iskemian, ATP:n puutteen sekä metabolisten jätteiden kertymisen seurauksena (Amstrong 1984). Kalsiumhomeostaasin muutokset näkyvät kalsiumin määrän lisääntymisenä solun sisällä (Baracos ym. 1986). Solun suuri kalsiumpitoisuus on haitallista, sillä se aktivoi mm. proteolyytisiä entsyymejä (Belcastro ym. 1998) sekä heikentää mitokondrioiden toimintaa (Armstrong ym. 1991). Toisaalta on kuitenkin havaittu, että lihavaurioita syntyy enemmän eksentristen kuin konsentristen kuormituksen jälkeen, vaikka ne ovat metabolisesti vähemmän kuormittavia (Fitts ym. 1994).

Lihavaurioiden syntyminen erityisesti eksentrisessä työssä uskotaan johtuvan siitä, että lihassoluun kohdistuu tällöin suurempi mekaaninen rasitus kuin konsentrisessä työssä (Faulkner ym. 1993). Eksentrisen kuormituksen jälkeen havaitaan useita muutoksia lihassolun sisäisessä rakenteessa: mm. Z-levyjen epäjärjestystä, ylivenyneitä sarkomeerejä sekä vaurioita solun tukirangassa, mitokondioissa ja T-tubuluksissa (Komulainen 1994). Hiirillä tehdyissä tutkimuksissa on todettu myös vaurioita sarkolemmassa eksentrisen suorituksen jälkeen (Komulainen 1998). Lisäksi kohonnut lämpötila saattaa vahingoittaa solun rakenteita, sillä eksentrisen lihastyön on havaittu tuottavan enemmän lämpöä kuin konsentrisen (Nadel ym. 1972).

Myöhästynyt lihasarkuus (DOMS, delayed onset muscle soreness) koetaan vasta useita tunteja kuormituksen jälkeen ja suurimmillaan se on yleensä 24-48 tunnin kuluttua. Tällöin havaitaan myös voiman ja liikelaaajuuden laskua sekä lihaksen turvotusta. Lihasarakuus aiheutuu luultavasti lihasten mikrovaurioiden synnyttämästä tulehdustilasta, mikä saa vapaat hermopäätteiden aktivoitumaan synnyttäen paikallisen kivun tuntemuksen. Nämä tyypin III- ja IV –afferenttihermot reagoivat lihaksen turvotukseen, sisäisen paineen nousuun sekä kudosten hajoamistuotteiden ja kemiallisten aineiden vapautumiseen (esim. histamiini, bradykiniini, prostaglandiini). (Brockett ym. 2002.)

### 3.3 Lihasvaurioiden arviointimenetelmät

Lihassoluvaurioita voidaan arvioida joko suoraan lihasbiopsian avulla tai epäsuorasti suorituskykymuutosten sekä lihaksen arkuuden, jäykkyyden ja turvotuksen avulla. Lisäksi arviointiin käytetään monia verestä havaittavia lihassoluproteiineja, kuten kreaatinikinaasi (CK) ja laktaattidehydrogenaasi (LDH), joiden pitoisuuden on havaittu lisääntyvän erityisesti eksentrisen kuormituksen jälkeen. Proteiinien vapautuminen lihassolusta on seurausta solukalvon vaurioitumisesta tai sen läpäisevyysmuutoksista. (Connolly ym. 2003.)

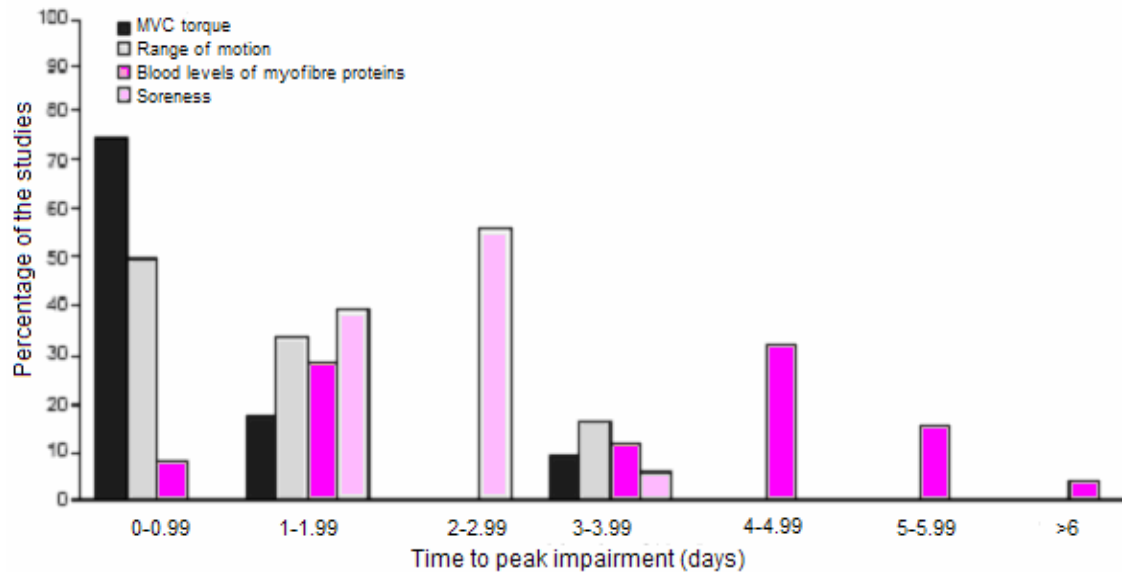
Lihasvaurion arvioinnissa yleisimmin käytetyt indikaattorit ovat esitetty taulukossa 1. Suorituskyky- ja liikelaajuusmuuttujia pidetään luotettavimpina lihasvaurion indikaattoreina. Lihassoluproteiinien pitoisuutta veressä pidetään epäluotettavampana keinona arvioida lihasvauriota, koska ne vaihtelevat suuresti yksilöiden välillä ja määrällä ei ole välttämättä yhteyttä suorituskykymuuttujien kanssa. (Connolly ym. 2003.)

Lihasvaurion arvioinnissa käytettyjen muuttujien ajallinen vaihtelu on suurta (kuva 6). Eksentrisen suorituksen jälkeinen maksimaalinen voimantuotto ja liikelaajuus ovat alimmillaan yleensä heti suorituksen jälkeen, kun taas lihasarkuus on suurimmillaan usein 1-3 vrk kuluessa suorituksesta. Lihaspoteiinien pitoisuus veressä on korkeimmillaan yleensä vasta useita päiviä kuormituksen jälkeen. (Warren ym. 1999.)

TAULUKKO 1. Yleisimmin käytetyt lihasvaurion indikaattorit (Connolly ym. 2003).

Index	Damage information	Difficulty of measure			Comments
		Cost	Reliability	Reliability	
Biopsy	Local	High	High	High	Best indicator
Strength	Local	Low	Low	Medium	
Pain	Central	Low	Low	Medium-high	High subjectivity
Tenderness	Local	Low	Low	Medium	High subjectivity
Stiffness	Local	Low	Low	Medium-high	
Swelling	Local	Low	Low	Medium-high	
Creatine kinase	Central	Low	Low	Low	High inter- and intraindividual variation
Lactate dehydrogenase	Central	Low	Low	Low	High inter- and intraindividual variation
Glutamic oxaloacetic transaminase	Central	Low	Low	Low	High inter- and intraindividual variation





KUVA 6. Lihasvaurioindikaattorien huipun ilmeneminen eksentrisen kuormituksen jälkeen neljällä eri menetelmällä: maksimivoima (MVC torque, n=23 tutkimusta), liikelaajuus (range of motion, n=6 tutkimusta), lihasproteiinipitoisuus veressä (blood levels of myofibre proteins, n=25 tutkimusta) ja lihasarkuus (soreness, n=33) (Warren ym. 1999).

### 3.4 Kreatiinin vaikutus lihasvaurioon

Kreatiinin käyttö lisää lihassolun vapaan kreatiinin sekä KP:n konsentraatiota (Hultman ym. 1996). KP pystyy kiinnittymään polaarisiiin fosfolibideihin lihassolujen kalvorakenteissa, jolla näyttäisi olevan sarkolemmaa stabiloiva vaikutus. Sydänkirurgiassa KP:ta käytetään ehkäisemään sydänlihassoluvaurioita. Suojaavan vaikutuksen taustalla ajatellaan olevan kreatiinfosfaatin positiivinen vaikutus solun energiatasapainoon (lisääntynyt fosforylaatio potentiaali), jolla lienee iskemian ja hypoksian aiheuttamaa solukalvovauriota ehkäisevä vaikutus. (Saks ym. 1993.) Tämän perusteella KP:n lihassolukalvoa stabiloivalla vaikutuksella sekä lisääntyneellä fosforylaatiopotentiaalilla voi olla suorituksen jälkeistä lihassolukalvovauriota sekä lihaksen jäykkyyttä ja arkuutta ehkäisevä vaikutus (Clark 1997).

Kirjallisuudesta löytyy muutamia ristiriitaisia tutkimuksia, joissa on tutkittu kreatiinin vaikutusta raskaan kuormituksen jälkeiseen lihasvaurioon. Rawson ym. (2001) tutkivat kreatiinin vaikutusta palautumiseen ja lihasvaurioon isokineettisella dynamometrillä tehdyssä kuormituksessa, jossa suoritettiin 50 maksimaalista eksentrisessä lihassupistus-

ta kyynärvarren koukistajilla. Kuormituksen jälkeen tarkasteltiin voimantuottoa, liikelaajuutta, turvotusta, arkuutta sekä veren CK- ja LDH-pitoisuuksia. Kreatiinin käytön ei todettu vähentävän lihasvaurion merkkejä, eikä edistävän suorituskyvyn palautumista. Tutkijat päätyivät tulokseen, että näin kovassa kuormituksessa kreatiinin mahdollisella solukalvoa stabiloivalla vaikutuksella ei ollut merkitystä vaurioiden ehkäisemisessä. (Rawson ym. 2001.)

Sen sijaan Santos ym. (2004) tutkimuksessa kreatiinin käytöllä oli lihassoluvaurioindikaattorien määrää vähentävä vaikutus 30 km juoksun jälkeen. Lihasvaurioita arvioitiin verestä CK, LDH, PGE2 ja TNF $\alpha$  -pitoisuuksien avulla 24 tunnin juoksusuorituksen jälkeen. Tutkijat ehdottivat vaurioita vähentävän vaikutuksen johtuvan kreatiinilatauksen synnyttämistä mekanismeista, jotka lisäsivät solun sisäisen nesteen määrää, muunsivat MRF4- ja myogeeniekspressiota sekä stimuloivat proteiinisynteesiä. (Santos ym. 2004.) Saks lähteen Clark (1997) mukaan 2 g/vrk KP:ta suoraan laskimoon vähensi urheilijoiden suorituksen jälkeistä lihasjäykkyyttä ja nopeutti palautumista. Tästä julkaisemattomasta tutkimuksesta ei ole kuitenkaan saatavilla tarkempia tietoja.

Rawson ym. (2007) tekivät uuden tutkimuksen kevyemmällä kuormitusprotokollalla. Nyt koehenkilöt suorittivat vähemmän lihasvaurioita synnyttävän kuormituksen, jossa tehtiin 5 x 15-20 jalkakyykkyä 50 %:lla maksimista. Tarkasteltavat muuttujat olivat samat kuin aiemmassakin tutkimuksessa, mutta kreatiinilla ei ollut taaskaan lihasvaurioilta suojaavaa vaikutusta. Tutkijat päättelivät, että kreatiini saattaa suojata lihassolua hypoksisessa tilanteessa, kuten kestävyysuorituksessa, mutta ei tilanteessa, jossa soluun kohdistuu suurta mekaanista räsitusta. (Rawson ym. 2007.)

Kirjallisuudesta löytyi myös kaksi hiirillä tehtyä tutkimusta kreatiinin vaikutuksesta lihasvaurioon. Port ym. (1993) tutkimuksessa hiiret suorittivat 15-30 minuutin uintisuorituksen kerran päivässä viisi kertaa viikossa yhteensä viiden viikon ajan. Viimeisenä viikkona hiiret jaettiin kreatiini- ja placeboryhmään. Suorituksen jälkeen havaittiin CK- ja LDH -pitoisuuksien alenemista kreatiiniryhmällä. Warren ym. (2000) testasivat kreatiinin vaikutusta eksentrisessä suorituksessa. Eroja kreatiiniryhmän ja placeboryhmän välillä ei löytynyt. Myös näiden tutkimuksen tulokset tukevat Rawson ym. (2007) ehdotusta siitä, että kreatiinin hyöty näkyisi ainoastaan suorituksessa, jossa altistutaan hypoksialle.

## 4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT

Kreatiinin vaikutukset suorituskykyyn ovat hyvin tiedossa, mutta sen vaikutuksia suorituksen jälkeiseen palautumiseen ja lihasarkuuteen on tutkittu vähän. Kreatiinifosfaatin tiedetään pystyvän kiinnittymään polaarisiin fosfolibideihin lihassolujen kalvolla, jolla saattaa olla solukalvoa stabiloiva vaikutus. Tämä saattaisi ehkäistä kuormituksesta johtuvia mikroaurioita, jotka johtavat voimantuoton alenemiseen ja ns. viivästyneeseen lihasarkuuteen (DOMS).

Tämän työn tarkoituksena on tutkia onko 5 vuorokauden kreatiinimonohydraatin (20 g/vrk) käytöllä vaikutusta venymis-lyhenemissyklus -tyyppisen kuormituksen jälkeiseen lihasvaurioon (CK), lihasarkuuteen ja suorituskykyyn sekä em. muuttujien palautumiseen kuormituksen jälkeen. Lisäksi tarkastellaan kreatiinin käytön vaikutusta kehon painoon ja koostumukseen.

*Työhypoteesi 1:* Kreatiini käytöllä on suorituskyvyn palautumista edistävä vaikutus kuormituksen jälkeiseen.

*Nollahypoteesi 1:* Kreatiinin käytöllä ei ole vaikutusta suorituskyvyn palautumiseen.

*Tutkimushypoteesi 2:* Kreatiinin käyttö vähentää veren CK-pitoisuutta kuormituksen jälkeen.

*Nollahypoteesi 2:* Kreatiinin käytöllä ei ole vaikutusta veren CK-pitoisuuteen kuormituksen jälkeen.

*Työhypoteesi 3:* Kreatiinin käytöllä on kuormituksen jälkeistä lihaskipua vähentävä vaikutus.

*Nollahypoteesi 3:* Kreatiinin käyttö ei vaikuta kuormituksen jälkeiseen lihasten kivuntunteeseen.

*Työhypoteesi 4:* Kreatiini käyttö lisää kehon painoa

*Nollahypoteesi 4:* Kreatiinin käyttö ei vaikuta kehon painoon

## 5 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 5.1 Koehenkilöt

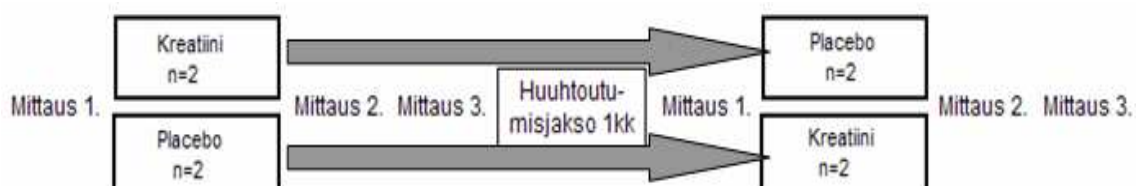
Tutkimuksen koehenkilöinä toimi neljä liikunnallisesti aktiivisista miestä. Henkilöiden harrastuksia olivat pesäpallo, salibandy ja mailapelit. He eivät olleet tottuneet hyppelytyyppiseen kuormitukseen. Koehenkilöiden taustatiedot ovat esitetty taulukossa 2. Tutkimuksen alussa koehenkilöille kerrottiin tutkimuksen tarkoitus ja mittauksien sisältö sekä testeihin mahdollisesti liittyvät riskit. Ensimmäisessä mittauksessa koehenkilöt allekirjoittivat suostumuksen tutkimukseen osallistumisesta.

TAULUKKO 2. Koehenkilöiden taustatiedot tutkimuksen alkaessa (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta).

<b>Ikä (v)</b>	25,5 $\pm$ 1
<b>Pituus (m)</b>	1,78 $\pm$ 5
<b>Paino (kg)</b>	75,8 $\pm$ 8,4
<b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	23,9 $\pm$ 1.6
<b>Rasva (%)</b>	12,5 $\pm$ 2.2
<b>Hemoglobiini (g/l)</b>	155 $\pm$ 10
<b>Hematokriitti (%)</b>	0,45 $\pm$ 0,03

### 5.2 Koeasetelma

Tutkimuksessa käytettiin ristikkäistyyppistä koeasetelmaa (cross-over), jossa kaksi koehenkilöistä käytti ensimmäisen testijakson aikana kreatiinimonohydraattia ja kaksi placeboa. Tämän jälkeen pidettiin kuukauden huuhtoutumisjakso, jonka jälkeen osat vaihtuivat (Kuvio 7). Kreatiiniryhmä nautti kreatiinimonohydraattia (FAST) 20 g vuorokaudessa neljässä erässä (4x5 g) ruokailun yhteydessä. Placeboryhmä nautti saman valmistajan hiilihydraattia (Malto6) 20 g vuorokaudessa samalla tavoin neljässä erässä.

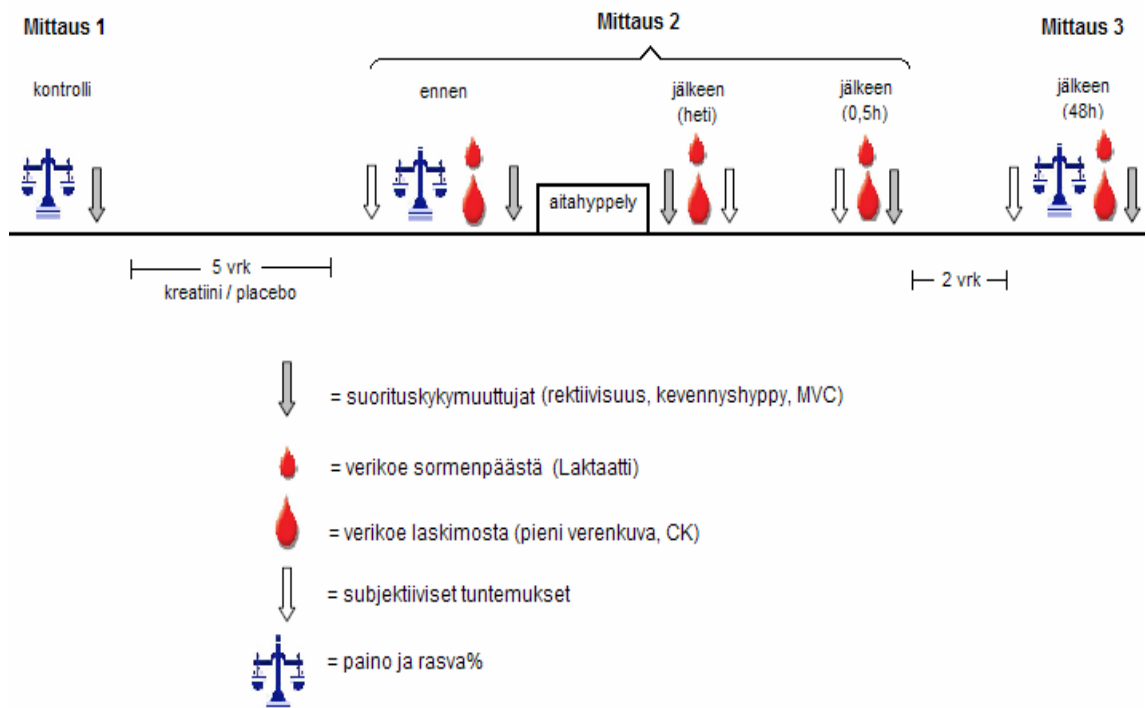


KUVIO 7. Tutkimuksen ristikkäiskoeasetelma (cross-over).

Koehenkilön mittaukset suoritettiin aina saamaan vuorokauden aikaan. Koehenkilöitä oli pyydetty välttämään intensiivistä liikuntaa viiden vuorokauden ajan ennen mittauksiin tuloa. Lisäksi raskasta ruokailua tuli välttää vähintään kaksi tuntia ennen mittauksia. Aitahyppelykuormituksen jälkeinen välipäivä ennen viimeistä mittausta (mittaus 3) oli lepopäivä. Koehenkilöjä ohjeistettiin syömään normaalisti tutkimusjakson aikana.

### 5.3 Testijakson kulku

Testijakso alkoi kontrollimittauksilla (mittaus 1), jonka jälkeen koehenkilöt nauttivat viisi vuorokautta joko kreatiinia tai placeboa. Tämän he tulivat varsinaisiin mittauksiin (mittaus 2), joissa mitattiin eri muuttujat ennen ja jälkeen aitahyppelykuormituksen. Aitahyppelykuormitus tehtiin Hipposhallissa ja se sisälsi yhteensä 150 hyppyä 76 cm korkeiden aitojen yli. Aitahyppelyt tehtiin kolmessa 50 hypyn sarjassa siten, että ylitettiin yhtäjaksoisesti viisi aitaa, jonka jälkeen palattiin kävellen ensimmäiselle aidalle ja aloitettiin välittömästi seuraava viiden aidan hyppely. Sarjojen välillä pidettiin 4 min palautus. Hyppyt pyrittiin tekemään siten, että ponnistuskontaktin kesto oli mahdollisimman lyhyt ja aidan ylitys mahdollisimman korkealta. Testijakson kulku käy ilmi kuvioista 7.



KUVIO 8. Mittausjakson kulku.

## 5.4 Aineiston keräys ja analysointi

*Suorituskykymuuttujat.* Jokaisessa mittausvaiheessa mitattiin reaktiivisuushyppy, kevennyshyppy ja jalkojen ojentajien isometrinen maksimivoima. Koehenkilöillä oli kolme yritystä jokaisessa suorituskykytestissä, joiden välissä pidettiin noin 30 s tauko. Heti aitaahyppelyn jälkeen tehtiin vain kaksi yritystä, jotta voitiin nähdä aitaahyppelyn kuormittavuuden vaikutus suorituskykymuuttujiin. Reaktiivisuushyppy pyrittiin suorittamaan nilkan plantaarflekreilla siten, että ponnistus oli mahdollisimman nopea ja polvet suorana. Kevennyshyppyssä koehenkilö sai itse määrittää kevennyksen syvyyden. Kummassakin suorituksessa käden olivat lantioilla. Reaktiivisuushyppyjen teho ja kevennyshyppyn korkeus saatiin kontaktimaton avulla (Newtest Powertimer, Oulu, Suomi). Jalkojen maksimaalinen ojennusvoima mitattiin istuma-asennossa isometrisessä jalkadynamometrissä (David 200, Helsinki, Suomi) 107 asteen polvikulmalla. Polvikulmat määritettiin kulmamittarilla trochanter majorista lateraaliseen malleolukseen (jalka ojennettuna = 180°).

*Verinäytteet.* Ennen aitaahyppelykuormitusta otettiin laskimonäyte, josta määritettiin pieni verenkuvaa ja CK:n perustaso. Lisäksi otettiin verinäyte sormenpästä laktaatin perustason määrittämiseksi. Vastaavat näytteet otettiin sormenpästä ja laskimosta kuormituksen jälkeen heti, puolen tunnin ja kaksi vuorokauden kuluttua samalla tavalla. Pieni verenkuvaa otettiin vain ennen tilanteessa kummassakin ryhmässä. Pieni verenkuvaa määritettiin Sysmex KX 21N-analysointilaitteella (Sysmex Co., Kobe, Japan). Veren laktaatti määritettiin sormenpäänäytteestä EKF-analysointilaitteella (EKF Laboratories Biosen C-line, Magdeburg, Germany). CK-aktiivisuus määritettiin seerumista Vitros DT60-analysointilaitteella (Ortho-Clinical Diagnostics, Inc., Rochester, NY, USA). Kaikki verinäytteet otti kokenut laboratorionhoitaja, joka vastasi myös näytteiden jatkokäsittelystä.

*Subjektiiiviset tuntemukset.* Jalkojen lihasten kivuntuntemusta sekä fyysisen väsymisen tunnetta seurattiin kyselykaavakkeen avulla asteikolla 0-6 (liite 1). Tuntemukset kysyttiin ennen aitaahyppelyä sekä heti, puoli tuntia ja kaksi vuorokautta kuormituksen jälkeen.

*Kehon paino ja koostumus.* Kehon paino ja koostumus mitattiin InBody 720 -bioimbedanssilaitteella (Biospace Co., Seoul, Korea). Lisäksi kehokoostumus määritet-

tiin rasvapihdeillä mittaamalla ihopoimujen paksuus neljästä kohdasta kehon dominoivalta puolelta. Poimujen paksuus mitattiin hauislihaksen päältä (biceps), olkavarren takaa (triceps), lapaluun alakärjen kohdalta (subscapularis) ja suoliluun harjun päältä (suprailiaca) (Durnin & Womersleyn 1974).

## 5.5 Tilastolliset menetelmät

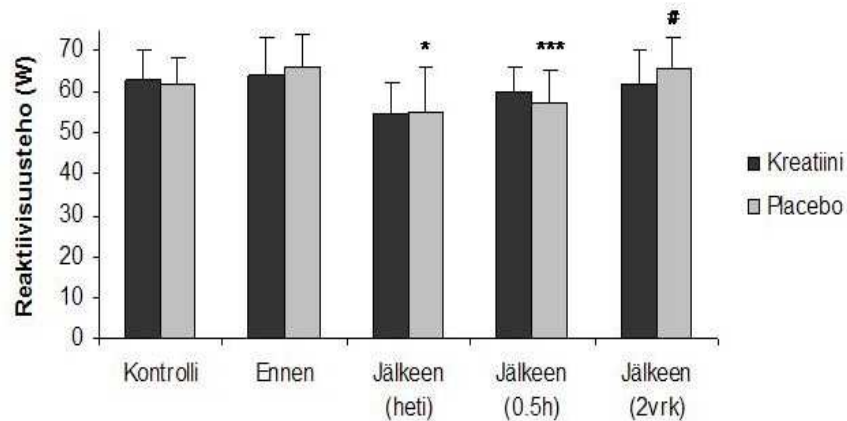
Tulosten tilastollisessa analysoinnissa käytettiin SPSS 15.0 -ohjelmaa. Kaikkien muuttujien tarkasteluun käytettiin toistettujen mittausten varianssianalyysiä. Muuttujien muutosta tarkasteltiin saman ryhmän sisällä eri mittauskertojen välillä. Lisäksi tarkasteltiin eri mittauskertojen välistä eroa kreatiini- ja placeboryhmien kesken.

Tilastollista merkitsevyyttä on kuvattu symbolilla \*, kun merkitsevä muutos oli saman ryhmän kahden eri mittauksen välillä ja symbolilla #, kun merkitsevä ero oli samoissa mittauksissa eri ryhmien välillä. Symbolien lukumäärä kuvaa merkitsevyyden suuruutta siten, että  $*=p<0.05$ ,  $**=p<0.01$  ja  $***=p<0.001$ . Tuloksissa olevat hajonnat on esitetty keskihajontana ( $\pm$ SD)

## 6 TULOKSET

### 6.1 Suorituskykymuuttujat

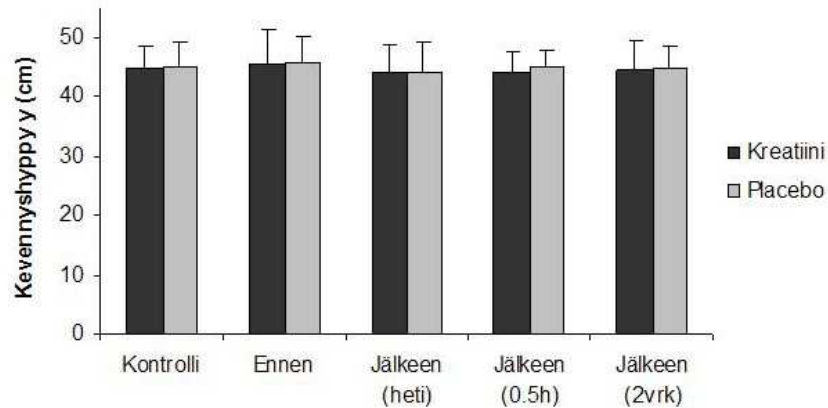
*Reaktiivisuushyppy.* Hyppelyteho laski aitahyppelykuormitusta edeltävästä mittauksesta (ennen) ja heti kuormituksen jälkeen tehdyn mittauksen välillä placeboryhmällä 16,3 % ( $p < 0.05$ ) ja kreatiiniryhmällä 13,1 %. Hyppelyteho 0,5 h jälkeen kuormituksen oli placeboryhmällä 12,9 % ( $p < 0.001$ ) ja kreatiiniryhmällä 6,5 % alempana ennen-tilanteeseen verrattuna. Kaksi päivää kuormituksen jälkeen hyppyteho oli palautunut placeboryhmässä kuormitusta edeltävälle tasolle, kun taas kreatiiniryhmässä teho oli 3,5 % alempana. Toiseksi viimeisen (jälkeen 0,5 h) ja viimeisen mittauksen (jälkeen 2 vrk) välillä hyppyteho nousi placeboryhmällä 12,5 % ja kreatiiniryhmällä vain 3,1 % ja näin ollen palautuminen oli merkitsevästi parempaa placeboryhmässä ( $p < 0.05$ ) (kuva 9.).



KUVA 9. Viiden reaktiivisuushypyn keskiteho (W) kreatiini- ja placeboryhmässä. \* =  $p < 0.05$ , \*\*\* =  $p < 0.001$  (ero ennen -tilanteeseen nähden). # =  $p < 0.05$  (ero muutoksessa ryhmien kesken kahden peräkkäisen mittauksen välillä).

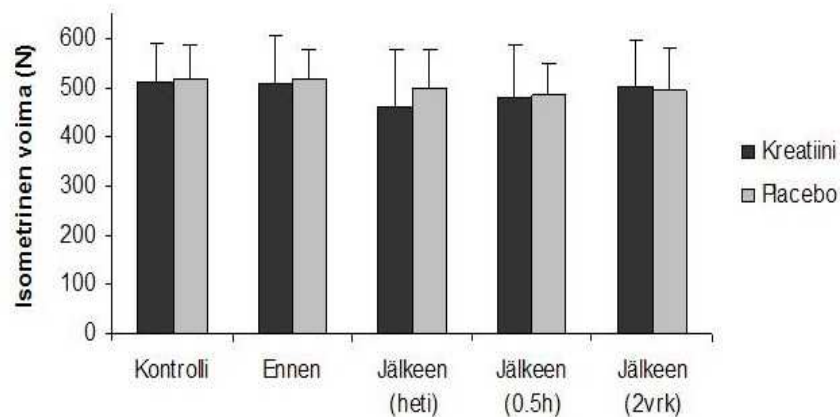
*Kevennyshyppy.* Hyppykorkeudessa ei tapahtunut muutosta eri mittauskertojen välillä eikä ennen-tilanteeseen verrattuna kummassakaan ryhmässä. Myöskään ryhmien välillä eri mittauksissa ei ollut eroja (kuva 10).





KUVA 10. Kevennyshyppyn korkeus (cm) kreatiini- ja placeboryhmissä.

*Isometrinen voima.* Jalkojen voimantuotto isometrisessä dynamometrissä laski kreatiiniiryhmällä aitaheppelykuormituksen jälkeen 9,3 % verrattuna kuormitusta edeltävään mittaukseen. Placeboryhmällä vastaava lasku oli 3,9 %. Puolen tunninkohdalla laskua oli kreatiiniiryhmällä 7,3 % ja placeboryhmällä 6,4 %. Tulokset eivät kuitenkaan olleet merkitseviä. Ryhmien välillä ei myöskään ollut merkitsevää eroa (kuva 11).

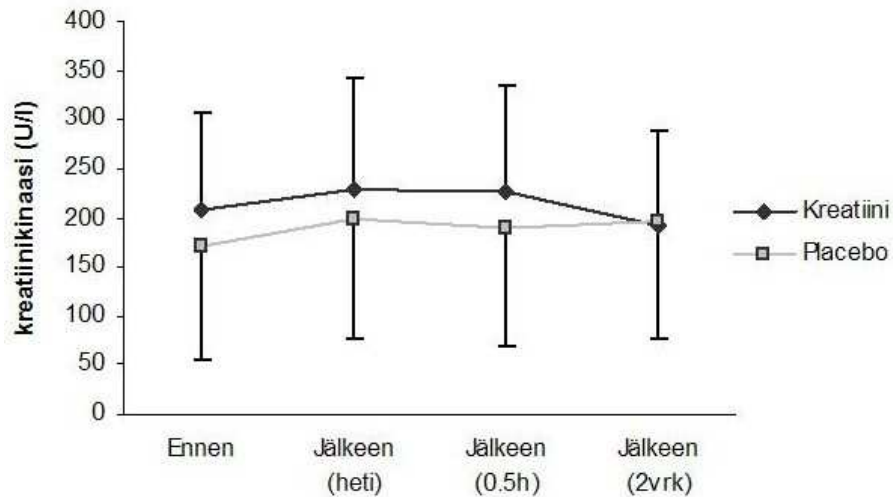


KUVA 11. Jalkojen isometrinen voima kreatiini- ja placeboryhmissä.

## 6.2 Veren kreatiinikinaasi ja laktaatti

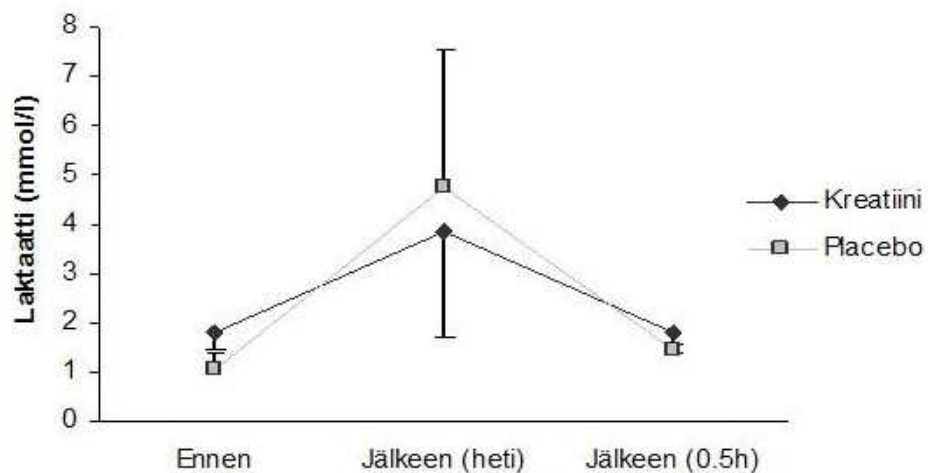
*Kreatiinikinaasi.* Veren kreatiinikinaasiaktiivisuus (CK) nousi lepotasosta 10,6 % kreatiiniiryhmällä ja 13,9 % placeboryhmällä heti kuormituksen jälkeen. Muutos ei kuiten-

kaan ollut merkitsevä. Kahden vrk:n kuluttua kreatiiniyryhmässä CK laski 7,7 % alle lepotason, kun taas placeboryhmällä se oli 12,5 % yli lepotason. Ryhmien väliset erot eivät kuitenkaan olleet merkitseviä (kuva 12).



KUVA 12. Veren kreatiinikinaasipitoisuus kreatiini- ja placeboryhmissä.

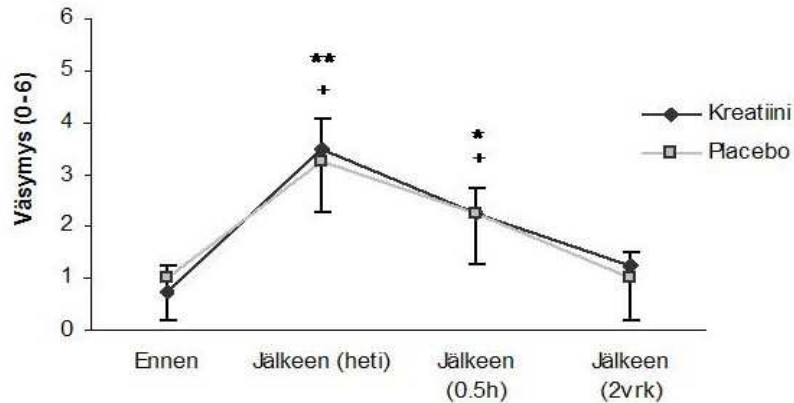
*Laktaatti.* Veren laktaatti nousi kuormituksen seurauksena kreatiiniyryhmällä 1,8 → 3,8 mmol/l ja placeboryhmällä 1,1 → 4,7 mmol/l. Placeboryhmällä kuormituksen jälkeinen laktaatti oli 18 % suurempi, mutta tulokset eivät kuitenkaan olleet merkitseviä. Puolen tunnin kuluttua laktaatti oli laskenut takaisin lepotasoon kummallakin ryhmällä (kuva 13).



KUVA 13. Veren laktaattipitoisuus kreatiini- ja placeboryhmissä.

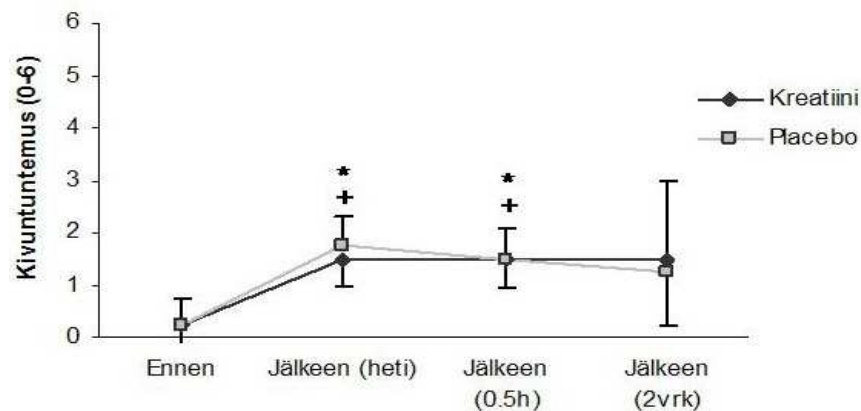
### 6.3 Subjektiiiviset tuntemukset

*Fyysinen väsymys.* Fyysisen väsymyksen tunne asteikolla 0-6 mitattuna oli merkitsevästi suurempi heti kuormituksen jälkeen sekä kreatiini ryhmässä  $0,75 \rightarrow 3,5$  ( $p < 0.01$ ) että placeboryhmässä  $1 \rightarrow 3,25$  ( $< 0.05$ ). Vielä puolen tunnin kohdalla kummankin ryhmän väsymisen tunne oli merkitsevästi perustasoa suurempaa (2,25,  $p < 0.05$ ), mutta ei enää kahden vuorokauden kohdalla (kuva 14).



KUVA 14. Fyysisen väsymyksen tunne kreatiini- ja placebotyhmässä. \*\* =  $p < 0.01$ , \* =  $p < 0.001$  (ero ennen -tilanteeseen nähden kreatiini ryhmässä). + =  $p < 0.05$  (ero ennen -tilanteeseen nähden placeboryhmällä).

*Kivuntuntemus.* Jalkojen lihasten kivuntuntemus asteikolla 0-6 lisääntyi merkitsevästi heti kuormituksen jälkeen sekä kreatiini ryhmällä  $0,25 \rightarrow 1,5$  ( $p < 0.05$ ) että placeboryhmällä  $0,25 \rightarrow 1,75$  ( $p < 0.05$ ). Puolen tunnin kohdalla kivuntuntemus kummallakin ryhmällä oli 1,5 ( $p < 0.05$ ) ja kahden päivän kuluttua kreatiini ryhmällä edelleen 1,5 ja placeboryhmällä 1,25. (kuva 15).



KUVA 15. Jalkojen lihasten kivuntuntemus kreatiini- ja placebotyhmässä.

## 6.4 Kehon paino ja koostumus

*Kehon paino.* Kehon paino lisääntyi merkitsevästi kreatiini-ryhmässä viiden vrk:n kreatiinin käytön jälkeen ( $p < 0.01$ ). Muutos placeboryhmään nähden oli myös merkitsevä ( $p < 0.01$ ) (taulukko 3).

*Kehon koostumus.* Kehon koostumuksessa ei tapahtunut merkitsevää muutosta bioimbedanssilla eikä ihopoimumenetelmällä mitattuna (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Kehon paino ja koostumus kreatiini- ja placebo-ryhmillä. \*\* =  $p < 0.01$  (muutos ennen -tilanteesta), ## =  $p < 0.01$  (ero muutoksessa ryhmien kesken kahden peräkkäisen mittauksen välillä).

	kreatiinijakso	placebojakso
<b>kehon paino (kg)</b>		
ennen	75.8 ± 8.4	76.6 ± 7.6
5 vrk:n jälkeen	77.2 ± 8.0 ** ##	76.7 ± 7.7
7 vrk:n jälkeen	77.1 ± 8.3	76.5 ± 7.8
<b>rasva% (bioimbedanssi)</b>		
ennen	9.6 ± 1.2	10.1 ± 1.4
5 vrk:n jälkeen	9.4 ± 1.7	10.4 ± 1.5
7 vrk:n jälkeen	9.3 ± 1.5	10.2 ± 1.7
<b>rasva% (ihopoimut)</b>		
ennen	12.3 ± 2.2	12.6 ± 2.4
5 vrk:n jälkeen	12.5 ± 2.6	12.7 ± 2.6
7 vrk:n jälkeen	12.8 ± 2.1	12.9 ± 2.3

## 7 POHDINTA

Kreatiinin vaikutusta raskaan kuormituksen jälkeiseen lihasvaurioon on tutkittu vähän. Muutamassa tutkimuksessa kreatiinilla on todettu olevan lihasvaurioita vähentävä vaikutus (Santos ym. 2004., Saks lähteessä Clark 1997 & Port ym. 1994). Muutamassa tutkimuksessa kreatiinista sitä vastoin ei ole ollut hyötyä (Rawson ym. 2007 & 2001 & Warren ym. 2000). Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, vähentääkö viiden vuorokauden kreatiinilataus (20 g/vrk) aitahyppelyharjoituksen jälkeistä lihasvauriota. Koska suorituksen jälkeiset lihasvauriot jäivät kuitenkin niin pieniksi, on tämän tutkimuksen perusteella vaikea arvioida kreatiinin vaikutuksia lihasvaurioon. Tutkimuksen selkein löydös oli kreatiinilatauksen aiheuttama kehon painon nousu. Lisäksi kreatiiniryhmällä kuormituksen jälkeinen veren laktaattipitoisuus oli lievästi matalampi verrattuna placeboryhmään.

### **Kreatiinin käyttö**

Kreatiinilatauksen kesto tässä tutkimuksessa oli viisi vuorokautta ja annos 20g/vrk nautittuna neljässä eri erässä. Kirjallisuuden mukaan kyseinen annostus on riittävä lihaksen Kr- ja KP-varastojen nostamiseen (McArdle ym. 2001). Huuhtoutumisjakson pituus oli keskimäärin 30 vuorokautta vaihdellen 25-38 vuorokauden välillä. Jakson pituus olisi saanut olla hieman pidempi, sillä lihaksen kreatiinipitoisuus saattaa olla hieman koholla perustasosta vielä kuukauden jälkeenkin (Hultmann ym. 1996).

### **Aitahyppelyprotokolla**

Twist ym. (2005) raportoivat 10x10 kevennyshyppykuormituksen saavan aikaan merkitsevää suorituskyvyn laskua sekä nousua veren CK:ssa urheilullisilla miehillä. Myös aitahyppelykuormituksen uskottiin saavan aikaan lihasvauriota tutkimuksen koehenkilöjoukossa, koska he eivät olleet tehneet hyppelytyyppistä harjoittelua. Lihasvauriot jäivät kuitenkin odotettua pienemmiksi. Tämä saattaa johtua koehenkilöiden muuten hyvin liikunnallisesta taustasta. Lisäksi tottumattomuus aitahyppelyyn saattoi vaatia niin tarkkaa keskittymistä aidan ylittämiseen, että hyppyjen suorittaminen aivan maksimaalisella ponnistuksella jäi tekemättä, jolloin lihasvauriot jäivät syntymättä. Toisaalta ei-liikun-

nallisten koehenkilöiden käyttö tässä tutkimuksessa olisi ollut vaikeaa aitahypelyn vaativuuden takia.

### **Suorituskykymuuttajat**

Suorituskykymuuttujista reaktiivisuushyppely ja vertikaalihyppy mittasivat räjähtävää voimantuottoa ja isometrinen jalkojen ojennus maksimaalista voimantuottoa (Keskinen ym. 2004). Suorituskykymuuttujissa ainoastaan reaktiohyppelyssä voitiin nähdä selvää laskua kuormituksen jälkeen. Yksi syy tähän oli se että kyseinen testi suoritettiin ensimmäisenä heti kuormituksen jälkeen, jolloin palautumista ei ollut vielä ehtinyt tapahtua. Lisäksi reaktiivisuustesti mittaa erityisesti nilkan plantaarifleksoreiden kimmoisuutta ja räjähtävää voimantuottoa (Keskinen ym. 2004), jotka ovat tärkein työtä tekevä lihasryhmä aitahypelyssä. Siksi on luonnollista, että kuormituksen seurauksena reaktiivisuus heikkenee, koska siinä tarvitaan erityisesti kyseisten lihasten voimantuottoa. Suorituskyvyn laskua oli tilastollisesti merkitsevää ainoastaan placeboryhmällä. Toisaalta placeboryhmällä palautuminen viimeiseen testiin (2 vrk jälkeen) oli parempaa, kuin kreatiiniryhmällä, joten erot ryhmien välillä voidaan olettaa johtuvan enemmän testisuoritusten onnistumisen vaihtelusta kuin kreatiinin vaikutuksesta. Kevennyshypessä ja isometrisessä voimassa ei tapahtunut merkitsevää laskua kuormituksen jälkeen. Tämä johtunee siitä, että kyseiset testit mittaavat pääasiassa polven ja lonkan lihasten ojennusvoimaa (Keskinen ym. 2004), joihin ei kohdistunut niin suurta kuormitusta aitahypelyssä. Lisäksi palautumista tapahtui hieman kauemmin ennen näitä testejä verrattuna reaktiivisuushyppelyyn.

### **Veren kreatiinikinaasi ja laktaatti**

Veren CK-pitoisuutta käytetään yleisesti lihasvaurioiden kuvajana (Connolly ym. 2003). Tässä tutkimuksessa veren CK-pitoisuus ei noussut merkitsevästi lepotasosta kuormituksen seurauksena. Tämän perusteella voidaan päätellä aitahypelyn olleen liian kevyt vaurioiden synnyttämiseksi. Osasyynä vähäiseen CK-vasteeseen lienee koehenkilöiden liikunnallisen tausta, sillä harjoitelleilla henkilöillä kuormituksen jälkeinen CK:n nousu jää yleensä merkitsevästi vähäisemmäksi verrattuna harjoittelemattomiin henkilöihin (Vincent ym. 1997).

Kuormituksen jälkeen veren laktaatti nousi placeboryhmällä hieman, mutta ei merkitsevästi kreatiiniiryhmää enemmän. Tuloksissa voidaan kuitenkin nähdä yhdenmukaisuutta Chwalbinska-Monetan (2003) tutkimuksen kanssa, jossa kreatiinilataus siirsi kilpatason soutajien laktaatintuottokynnystä korkeammille intensiteettitasoille verrattuna placeboon. Tutkijan mukaan laktaattikynnyksen siirtyminen myöhemmäksi johtunee lihaksen lisääntyneestä kreatiini- ja kreatiinifosfaattipitoisuudesta, jotka parantavat ATP:n maitohapotonta uudismuodostusta.

### **Subjektiiiviset tuntemukset**

Fyysisen väsymyksen tunne oli merkitsevästi suurempaa kummallakin ryhmällä sekä heti kuormituksen jälkeen että puolen tunnin kohdalla. Jalkojen kivuntuntemus nousi myös merkitsevästi kuormituksen jälkeen ja pysyi lähes samalla tasolla puolen tunnin ja kahden vuorokauden kohdalla. Subjektiiivisten tuntemukset eivät eronneet kreatiini- ja placeboryhmien välillä. Hyppelyn jälkeinen kivuntuntemus tässä tutkimuksessa oli kuitenkin melko vähäistä verrattuna esim. Twist ym. (2005) tutkimukseen, jossa 10x10 kevennyshyppyä tuottivat lihasarkuutta keskimäärin 5,5 asteikolla 1-10. Näin ollen myös subjektiiivisten tuntemusten perusteella lihasvauriot jäivät pieniksi. Lisäksi jotkut koehenkilöt kertoivat, että arkuus oli suurinta lonkan koukistajissa, eikä pohkeissa, kuten oletettiin. Tämä saattaa johtua ponnistusten vajaatehoisuudesta ja liian pitkästä kontaktijasta, jolloin pohkeisiin kohdistuva kuormitus jäi pieneksi.

### **Kehon paino ja koostumus**

Kehon paino lisääntyi merkitsevästi viiden vuorokauden kreatiinilatauksen seurauksena. Lisäystä tapahtui keskimäärin 1,4 kg, joka on samansuuntainen kirjallisuudessa esiintyvien tulosten kanssa (McArdle ym. 2001). Sen sijaan kehon koostumuksessa ei tapahtunut muutoksia rasvasaksilla eikä bioimbedanssilla mitattuna. Kyseisillä menetelmillä on vaikea päästä riittävään tarkkuuteen, jotta laskenut kehon rasvaprosentti tai toisaalta lisääntynyt kehon nestemäärä pystyttäisiin toteamaan.

### **Tutkimuksen kriittinen tarkastelu**

Tässä tutkimuksessa oli yhteensä vain neljä koehenkilöä, jotka kuuluivat vuorollaan kumpaankin ryhmään. Koehenkilöiden vähäinen määrä asettaa rajoituksia tutkimuksen

pätevyydelle. Lisäksi tilastollisten menetelmien käyttö tässä tutkimuksessa on kyseenalaista vähäisestä koehenkilömäärästä johtuen. Mittausten aikana koehenkilöt eivät myöskään pitäneet ruokapäiväkirjaa eivätkä raportoineet aktiivisuudestaan. Tämän vuoksi näiden tekijöiden vaikutuksia tuloksiin ei voida sulkea pois.

### **Yhteenveto**

Kirjallisuudesta löytyy kaksi ihmisillä (Santos ym. 2004, Saks lähteessä Clark 1997) ja yksi hiirillä tehty tutkimus, joissa kreatiinin on todettu vähentävän lihasvaurioita urheiluurituksessa. Kuormitus näissä tutkimuksissa on ollut pitkäkestoinen. Tämän perusteella todennäköisin mekanismi lieneekin hypoksian aiheuttamalta soluvaurioilta suojaaminen (Rawson ym. 2007). Sen sijaan voimaharjoittelutyypisessä kuormituksessa, jossa lihakseen kohdistuu suurta rasitusta kreatiinista ei näyttäisi olevan hyötyä vaurioiden vähentämisessä (Rawson ym. 2001 & 2007, Warren ym. 2000).

Tämän tutkimuksen perusteella on vaikea arvioida kreatiinin käytön vaikutuksia lihasvaurioon, koska aitaohjelmakuormitus ei aikaansaanut riittävää vastetta veren CK-pitoisuudessa. Subjekttiivisten tuntemusten mukaan aitaohjelmakuormitus aiheutti pientä kipua jalkojen lihaksiin ja tuotti siten lieviä lihasvaurioita, mutta eroa ryhmien välillä ei ollut. Veren laktaattipitoisuus kuormituksen jälkeen oli placeboryhmällä lievästi kreatiiniiniryhmää korkeampi, mikä saattaa viitata laktaatin tuoton vähenemiseen kreatiinin käytön seurauksena. Tutkimuksen merkittävin löydös oli kreatiinin aiheuttama painonnousu, mikä oli odotettua kirjallisuuden perusteella. Kehon koostumuksessa tapahtuvia muutoksia ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa käytetyillä mittausmenetelmillä voitu osoittaa.

Tutkimuksia kyseisestä aiheesta on olemassa hyvin vähän. Erityisesti kreatiinin vaikutukset lihasvaurioon aerobisessa sekä anaerobisessa suuren happivajeen synnyttävässä suorituksessa kaipaa lisäselvitystä.



## LÄHTEET

- Amstrong, R.B. 1984. Mechanisms of exercise induced delayed onset of muscular soreness: a brief review. *Med Sci Sport Exerc* 16: 529-538
- Amstrong, R., Warren, G. & Warren, J. 1991. Mechanism of exercise induced muscle fibre injury. *Sports Medicine* 12: 184-207.
- Asp, S., Daugaard, R., Kristiansen, S., Kiens, B. & Richter, E. 1998. Exercise metabolism in human skeletal muscle exposed to prior eccentric exercise. *J Physiol* 509: 350-313.
- Balsom, P.D, Söderlund, K. & Ekblom, B. 1994. Creatine in humans with special reference to creatine supplementation. *Sport Medicine* 18 (4): 268-280.
- Baracos, V., Greenberg, R.E. & Goldberg, A.L. 1986. Influence of calcium and other divalent cations on protein turnover in rat skeletal muscle. *Am J Physiol* 250: E702-E710.
- Belcastro, A., Shewchuk, L. & Raj, D. 1998. Exercise-induced muscle injury: A calpain hypothesis. *Molecular and Cellular Biochemistry* 179: 135-145.
- Bemben, M.G. & Lamont, H.S. 2005. Creatine Supplementation and Exercise Performance: Recent Findings. *Sports Med* 35 (2): 107-125
- Brockett, C. Morgan, D., Gregory, J. & Proske, U. 2002. Damage to different motor units from active lengthening of the medial gastrocnemius muscle of the cat. *Journal of Applied Physiology* 92: 1104-1110.
- Byrne, C., Twist, G. & Eston, R. 2004. Neuromuscular Function After Exercise-Induced Muscle Damage: Theoretical and Applied Implications. *Sports Med* 34 (1): 49-69.
- Byrnes, W.C., Clarkson, P.M., White, J.S., Hsieh, S.S. & Frykman, P.N. 1989. Altered sarcoplasmic reticulum function after high-intensity exercise. *J Appl Physiol* 67: 2072-2077.
- Casey, A., Constantin-Teodosiu, D., Howell, S., Hultman, E. & Greenhaff, P.L. 1996. Metabolic responses of type I and type II muscle fibers during repeated bouts of maximal exercise in humans. *American Journal of Physiology* 271: E38-43

- Chwalbinska-Moneta J. 2003. Effects of creatine supplementation on aerobic performance and anaerobic capacity in elite rowers in the course of endurance training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 13: 173-183
- Clark, J.F. 1997. Creatine and Phosphocreatine: A review of their use exercise and sport. *Journal of athletic training* 32 (1): 45-51
- Connolly, D.A.J., Sayers, S.P. & Mchugh, M.P. 2003. Treatment and Prevention of Delayed Onset Muscle Soreness. *Journal of Strength and Conditioning Research* 17 (1): 197-208
- Doherty, M., Smith, P.M., Davison, R.C. & Hughes, M.G. 2002. Caffeine is ergogenic after supplementation of oral creatine monohydrate. *Med Sci Sport Exerc* 34 (11):1785-1792
- Durnin, J.V. & Womersley, J. 1974. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British Journal of Nutrition* 32: 77-97.
- Faulkner, J.A., Books, S.V. & Opitck, J.A. 1993. Injury to skeletal muscle fibers during contractions: conditions of occurrence and prevention. *Phys Ther* 73 (12): 911-921.
- Fitts, R.H. 1994. Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological review* 74 (1): 49-94
- Friden, J. & Lieber, R. 1992. Structural and mechanical basis of exercise induced muscle injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24: 521-530.
- Friden, J., Sjöström, M. & Ekblom B. 1983. Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. *Int J Sports Med* 4: 170-176.
- Gandevia, S.C., Enoka. R., McComas, A., Stuart, D. & Thomas, C. 1995. Neurobiology of muscle fatigue. *Fatigue – Neural and Muscular Mechanisms*, Plenum Press, New York, USA, 515-525.
- Greenhaff, P.L., Bodin, K., Harris, R.C., Hultman, E., Jones, D.A., McIntyre, D.B., Soderlund, K. & Turner, D.L. 1993. The influence of oral creatine supplementation on muscle phosphocreatine resynthesis following intense contraction in man. *J Physiol*: 467:75
- Greenwood, M., Kreider, R., Earnest, C., Rasmussen, C. & Almada, A. 2003. Differences in creatine retention among three nutritional formulations of oral creatine supplements. *Journal of exercise physiology online* 6 (2): 37-43.

- Hultman, E., Soderholm, K., Timmons, J.A., Cederblad, G. & Greehaff, P.L. 1996. Muscle creatine loading in man. *J Appl Physiol.* 81: 232-237.
- Juhn, M.S. & Tarnopolsky, M. 1998. Oral creatine supplementation and athletic performance: A critical review. *Clinical Journal of Sport Medicine* 8: 286-297.
- Komulainen, J. 1994. Muscle water content and serum creatine kinase activity in exercise-induced damage. Väitöskirja, LIKES, Jyväskylä, s.73.
- Komulainen, J., Takala, T., Kuipers, H. & Hesselink, M. 1998. The disruption of myofibrestructures in rat skeletal muscle after forced lengthening contractions. *European Journal of Physiology* 436: 735-741.
- Kreider, R.B., Melton, C., Rasmussen, C.J., Greenwood, M., Lancaster, S., Cantler, E.C., Milnor, P. & Almada, A.L. 2003. Long-term creatine supplementation does not significantly affect clinical markers of health in athletes. *Molecular and cellular biochemistry* 244 (1/2): 95-104
- McArdle W.D., Katch F.I., Katch V.L *Exercise Physiology (Fifth edition)* 2001, 131-156: 583-588
- Mihic, S., Macdonald, J.R., McKenzie, S., et al. 2000. Acute creatine loading increases fat-free mass, but does not affect blood, plasma creatinine or CK activity in men and women. *Med Sci Sport Exerc* 32: 291-296
- Mujika, I., Goya, A., Padilla, S., Grijalba, A., Gorostiaga, E. & Ibanez, J. 2000. Creatine supplementation and sprint performance in soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 32: 518-7
- Nadel, E.R., Bergh, U. & Saltin, B. 1972. Body temperatures during negative work exercise. *J Appl Physiol* 6: 83-90.
- Nicol, V., Avela, J. & Komi P.V. 2006. The Stretch-Shortening Cycle: A Model to Study Naturally Occurring Neuromuscular Fatigue. *Sports Med* 36 (11): 977-999
- Powers, M.E., Arnold, B.L., Weltman, A.L., Perrin, D.H., Mistry, D., Kahler, D.M., Kraemer, W. & Volek, J. 2003. Creatine supplementation increases total body water without altering fluid distribution. *Journal of athletic training* 38 (1): 44-50.
- Port, K., Timpmann, L., Medijainen, L. & Ööpik, V. 1993. Influence of creatine administration on the postexercise CK and LDH enzyme activities. *Biochemistry of exercise. Clin. Sci. Suppl.* 87:117 1994.
- Raastad, T. & Hallen, J. 2000. Recovery of skeletal muscle contractility after high- and moderate-intensity strength exercise. *Eur J Appl Physiol* 82 (3): 206-14

- Rawson, E.S., Conti, M.P. & Miles, M.P. 2007. Creatine supplementation does not reduce muscle damage or enhance recovery from resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 21 (4): 1208–1213.
- Rawson, E.S., Gunn, B., & Clarkson, P.M. 2001. The effects of creatine supplementation on exercise-induced muscle damage. *Journal of Strength and Conditioning Research* 15 (2): 178–184.
- Safdar, A., Yardley, N.J., Snow, R., Melov, S. & Tarnopolsky, M.A. 2008. Global and targeted gene expression and protein content in skeletal muscle of young men following short-term creatine monohydrate supplementation. *Physiol Genomics* 17;32 (2): 219-228.
- Saks V.A. lähteessä Clark J.F. 1997. Creatine and phosphocreatine: a review of their use in exercise and sport. *Journal of athletic training*. 32 (1): 45-51.
- Saks, V.A. & Strumia, E. 1993. Phosphocreatine: molecular and cellular aspects of the mechanism of cardioprotective action. *Curr Ther Res*. 53: 565-598.
- Santos, R.V., Bassit, E.C., Caperuto, L.F. & Costa Rosa, L.F. 2004. The effect of creatine supplementation upon inflammatory and muscle soreness markers after a 30 km race. *Life Sciences* 75: 1917-1924.
- Syrotuik, D.G., Bell, G.J., Burnham, R., Sim, L.L., Calvert, R.A., & Maclean I.M. 2000. Absolute and relative strength performance following creatine monohydrate supplementation combined with periodized resistance training. *J Strength Cond Res*; 14 (2): 182-190
- Tarnopolsky MA, Parise G, Yardley NJ, Ballantyne, C.S., Olatinji, S., Phillips S.M. 2001. Creatine-dextrose Sports and protein-dextrose induce similar strength gains during training. *Med Sci Sports Exerc* 33: 2044-2052
- Twist, C. & Eston, R. 2005. The effects of exercise-induced muscle damage on maximal intensity intermittent exercise performance. *Eur J Appl Physiol*. 94, (5-6): 652-658.
- Vanderberghe, K., Gillis, N., Van Leemputte, M., Van Hecke, P., Vanstapel, F., & Hespel, P. 1996. Coffeine counteracts the ergogenic action of muscle creatine loading. *J. Appl. Physiol*. 80: 452–457.
- Vincent, H.K, & Vincent, K.R. 1997. The effect of training status on the serum creatine kinase response, soreness and muscle function following resistance exercise. *Int J Sports Med* 18 (6): 431-437.

- Volek, J.S., Duncan, N.D., Mazzetti, S.A., Staron, R.S., Putukian, M., Gomez, A.L., Pearson, D.R., Fink, W.J. & Kraemer, W.J. 1999. Performance and muscle fiber adaptations to creatine supplementation and heavy resistance training. *Medicine and science in sports and exercise*. 31 (8): 1147-1156
- Vollestad, N. 1997. Measurement of human muscle fatigue. *Journal of Neuroscience. Methods* 74: 219-227.
- Warren G.L., Fennessy, J.M. & Millard-Stafford, M.L. 2000. Strength loss after eccentric contractions is unaffected by creatine supplementation. *J Appl Physiol* 89: 557-562.
- Warren, G.L., Lowe, D.A. & Armstrong, R.B. 1999. Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports Med* 27: 43-59
- Watsford, M.L., Murphy, A.J., Spinks, W.L. & Walshe, A.D. 2003. Creatine supplementation and its effect on musculotendinous stiffness and performance. *Journal of strength and conditioning research* 17 (1): 26-33

Nimi:

**Jalkojen lihasten kiivuntuntumus**

	Mittaus 2 (ennen)	Mittaus 2 (heti)	Mittaus 2 (0,5h)	Mittaus 3 (48h)
0 = ei kipua	0	0	0	0
1 = hyvin pientä kipua	1	1	1	1
2 = pientä kipua	2	2	2	2
3 = kohtalaisia kipua	3	3	3	3
4 = kipua	4	4	4	4
5 = kovaa kipua	5	5	5	5
6 = erittäin kovaa kipua	6	6	6	6

**Fyysisen väsymys**

Olen	Mittaus 2 (ennen)	Mittaus 2 (heti)	Mittaus 2 (0,5h)	Mittaus 3 (48h)
0 = täysin voimissani, ei väsyttä yrittään	0	0	0	0
1 = hyvin lievästi väsynyt	1	1	1	1
2 = lievästi väsynyt	2	2	2	2
3 = kohtalaisen väsynyt	3	3	3	3
4 = väsynyt	4	4	4	4
5 = erittäin väsynyt	5	5	5	5
6 = täysin voimaton, väsymys ei voisi olla enää kovempi	6	6	6	6

**LIITE**