

**KOFEIININ VAIKUTUS LYHYTKESTOISEEN- JA  
MAKSIMIVOIMAA VAATIVAAAN URHEILUSUORITUKSEEN**

Perttu Laakso

Liikuntafysiologian cum laude -tutkielma

Kesä 2006

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

# SISÄLTÖ

JOHDANTO .....	4
1 KOFEIINI – KÄYTTÖ JA KEMIALLINEN KOOSTUMUS .....	5
2 KOFEIININ YLEISET FYSIOLOGISET VAIKUTUKSET .....	7
2.1 Toleranssi ja riippuvuus .....	8
3 KOFEIINI URHEILUSUORITUSTA PARANTAVA VAIKUTUS .....	9
3.1 Vaikutusmekanismit .....	10
3.1.1 Metaboliavaikutus .....	10
3.1.2 Keskushermostovaikutus .....	11
3.1.3 Vaikutus solutasolla .....	12
3.2 Kofeiinin vaikutus kestävyysuoritukseen .....	14
4 KOFEIININ VAIKUTUS LYHYTKESTOISEEN SUORITUKSEEN JA VOIMASUORITUKSEEN .....	15
4.1 Kuormitus kestoaltaan 8-40 minuuttia .....	15
4.2 Kuormitus, kestoaltaan alle 8 minuuttia, ja voimasuoritus .....	16
5 TUTKIMUSONGELMAT .....	18
6 TUTKIMUSASETELMA JA -MENETELMÄT .....	19
6.1 Testit .....	19
6.2 Tutkimuksen kulku .....	20
6.3 Aineiston analysointi .....	21
6.4 Tutkimuksen luotettavuus .....	21

7	TULOKSET .....	23
7.1	Kofeiinin vaikutus alaraajojen voimaan .....	23
7.2	Kofeiinin vaikutus räjähtävään voimantuottoon .....	23
7.3	Kofeiinin vaikutus anaerobiseen kestävyYTEEN .....	24
7.4	Kofeiinin vaikutus reaktiokykyyn .....	25
8	POHDINTA .....	26
	LÄHTEET .....	30

## JOHDANTO

Kofeiini on maailman yleisimmin käytetty nautintoaine. Se piristää, vähentää väsymyksen tunnetta ja lisää mentaalista suorituskykyä. Kofeiini on ollut myös urheilijoiden keskuudessa suosittu piriste. Ensinnäkin se kuuluu monen urheilijan jokapäiväiseen ruokavalioon. Toiseksi kofeiinilla on uskottu olevan suoritusta parantavaa vaikutusta. Sitä on käytetty suurinakin annoksina ei-anabolisena piristäjänä, useimmin ennen suoritusta, mutta myös sen jälkeen palautumisen nopeuttajana. Kofeiini ei ole vuoden 2003 jälkeen ollut kielletty lääkeaine kansainvälisen antidoping –toimikunnan säädöksissä.

Kofeiinin suoritusta parantavista vaikutuksista on tehty tieteellistä tutkimuksia jo pitkän aikaa. Niissä on todistettu että kofeiinista on kiistatonta hyötyä vain kestävyysuorituksissa, jotka ylittävät kestoaltaan 40 minuuttia (Spriet & Howlett 2000). Sen sijaan lyhytkestoisen suorituksen ja voimasuorituksen osalta kofeiinin hyötyjä ei ole pystytty aukottomasti osoittamaan. Tuloksia on saatu sekä kofeiinin hyödyistä (Doherty 1998; Wiles ym. 1992; Collomp ym. 1991; Lopez ym. 1983), että sen mitättömyydestä (Jacobson ym. 1992; Kruk ym. 1999; Dodd 1993; Williams ym. 1988). Tähän ovat vaikuttaneet myös epätäydelliset tutkimusprotokollat, koehenkilöiden ravitsemustilanne ja kofeiinin käyttötottumusten eroavuus.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää onko kofeiinilla vaikutusta voimasuoritukseen ja lyhytkestoiseen tehoa vaativaan urheilusuoritukseen nuorilla aikuisilla. Perustelu tutkimukselle on se, että kyseisiä ominaisuuksia vaativien urheilulajien edustajien, kuten palloilijoiden, keskuudessa kofeiini on varsin yleisesti käytetty aine.

# 1 KOFEIINI – KÄYTTÖ JA KEMIALLINEN KOOSTUMUS

Kofeiini on maailman yleisimmin käytetty nautintoaine ja piriste. Sitä käyttää 90 % suomalaisista ja 82–92 % Pohjois-Amerikkalaisista. Sen käyttö on hyvin yleistä ympäri maailman (Kahvi.net, Armstrong 2002). Armstrongin mukaan keskiverto kahvinjuoja käyttää kofeiinia 200-400 mg päivässä, mikä vastaa 2-4 kupillista suodatinkahvia päivässä. Kaikkiaan 20-30 % käyttäjistä kuluttaa kofeiinia 600 mg päivässä. Arvot koskevat Pohjois-Amerikkalaisia kuluttajia. Maailmanlaajuisesti kofeiinin käytetään 70 mg/päivä/henkilö. Käyttö on yleisintä keski-ikäisten ja vanhojen ihmisten keskuudessa, mutta virvoitus- ja energiajuomien sisältämää kofeiinia käyttää myös suuri joukko nuoria (D'Amicis & Viani 1993, 2). Esimerkiksi Yhdysvalloissa 98 % 5-18 vuotiaista käyttää päivittäin jotakin kofeiinia sisältävää tuotetta. Kofeiinia käytetään vaikuttavana aineena myös eräissä lääkkeissä. (Armstrong 2002, 190)

Kofeiinia saadaan luonnosta yhteensä 60 eri kasvin lehdistä, siemenistä tai hedelmistä. Tunnetuimmat näistä ovat kahvi, tee, kaakaopavut, kola ja guarana. Kofeiinia voidaan valmistaa myös synteettisesti. Kasveista kofeiini eristetään uuttamalla, jonka jälkeen se liukenee hyvin veteen. Kofeiinin vaikuttava aine on kemialliselta nimeltään metyyliksantiini. Kahvissa aine esiintyy muodossa 1,3,7-trimetyliksantiini. Teessä vaikuttava aine esiintyy kahtena eri muotona; teofylliinina ja teobrominina (kemiallisesti 1,3-dimetyliksantiini ja 3,7-dimetyliksantiini). Myös Kaakaopavussa vaikuttava aine on teofylliini. Suklaan sisältämä kofeiinimäärä on huomattavasti kahvia ja teetä pienempi. Pohjois-Amerikassa kofeiinia käyttää noin 90 % väestöstä. Heistä 54 % saa kofeiinin kahvista, 43 % teestä ja 3 % muista tuotteista. (Armstrong 2002, 190)

Eri nautintoaineet sisältävät erilaisia määriä kofeiinia. Tuoteselosteissa kofeiini ilmoitetaan yleensä pitoisuutena mg/l. Kofeiinia on suodatetussa kahvissa 720–973 mg/l. Teessä kofeiinipitoisuus on 136–467 mg/l ja kaakaossa korkeintaan 74 mg/l. Pikakahvissa kofeiinia on 440-493 mg/l ja vihreässä teessä 107 mg/l. Erikoiskahveissa kofeiinimäärät ovat; Espresso 267-300 mg/l, Cappucino 534-600 mg/l ja Café Latte 267-300 mg/l. Suklaa sisältää niin ikään kofeiinia, mutta sen määrä on huomattavasti kahvia ja teetä

pienempi 200-740 mg/kg. Suomessa myytävissä energiajuomissa kofeiinia on yleisimmin 320 mg/l (Taulukko 1.). (Armstrong 2002, 190; Kahvi.net; Paulig.fi)

TAULUKKO 1. Kofeiinimääriä eri nautintoaineissa. (Armstrong 2002; Kahvi.net; Paulig.fi)

<b>Tuote</b>	<b>Kofeiinia (mg)</b>	<b>Annoskoko (l)</b>	<b>Vahvuus (mg/l)</b>
Pikakahvi	66–74	0,150	440–493
Suodatinkahvi	108–146	0,150	720–973
Kofeiiniton suodatinkahvi	3-9	0,150	20–60
Tee (haudutettu 1 minuutti)	19-28	0,140	136-200
Tee (haudutettu 5 minuuttia)	38-70	0,140	271-467
Vihreä tee	15	0,140	107
Jäätee	22-36	0,240	92-150
Kola virvoitusjuoma	29-47	0,360	80-130
Kaakao	0-16	0,217	0-74
Maitosuklaa	200	1 kg	200 mg/kg
Tumma suklaa	740	1 kg	740 mg/kg
Espresso	80-90	0,30	267-300
Café Latte	80-90	0,300	267-300
Cappucino	80-90	0,150	534-600
Energiajuomat (Battery, Red Bull, Teho ym.)	106	0,33	320

## 2 KOFEIININ YLEISET FYSIOLOGISET VAIKUTUKSET

Armstrongin (2002) mukaan metyylixantiinit imeytyvät ruoansulatuskanavasta nopeasti ja diffuntoituvat vapaasti solukalvon läpi. Suurin osa aineesta on imeytynyt verenkiertoon 30–60 minuuttia sen nauttimisen jälkeen ja virtsasta suurin pitoisuus on mitattavissa noin kahden tunnin kuluttua. Aivoissa kofeiini ylittää helposti veri-aivo esteen ja siellä sen vaikutus kestää noin tunnin (Dager ym. 1999). Plasmasta mitatut kofeiini-/metyyliksantiinikonsentraatiot riippuvat nautitun annoksen koosta (Rall 1980, Nehligin ja Debryn 1994 mukaan). Yleisimmin plasmakonsentraatio on 50-100 mikromoolia. Tämä vastaa 1-3 kupillista suodatinkahvia kerralla nautittuna. Myrkyllisen annoksen raja on noin 200 mikromoolia ja ihmiselle tappava annos on 500 mikromoolia. Tyhjään mahaan nautittu kofeiiniannos nostaa sekä plasman, että virtsan pitoisuuksia suuremmiksi, kuin aterian yhteydessä nautittu. (Schwenk & Costley 2002, 907.)

Kofeiinin piristävä vaikutus perustuu keskushermoston stimulaatioon – vireystila ja hyvinolontunne lisääntyy ja väsymyksen tunne vähenee (Schwenk & Costley 2002, 907). Keskushermostovaikutukset ovat seurausta adenosinireseptorien kilpailevasta estosta sekä katekoliamiinien lisääntyneestä erityksestä (Nehlig & Debry 1994). Vaikutuksen kesto riippuu nautitun kofeiinin määrästä ja henkilön aineenvaihdunnan nopeudesta, mutta keskimääräinen kesto on noin neljä tuntia (Kahvi.net).

Katekoliamineihin kuuluvat lisämunuaiskuoren erittämät hormonit adrenaliini ja noradrenaliini sekä hermosolujen välittäjäaine dopamiini (Nienstedt ym. 1999). Ne lisäävät valppautta ja sopeuttavat elimistöä fyysiseen stressiin. Katekoliaminit osallistuvat moiniin elimistön aineenvaihdunnallisiin tapahtumiin, kuten glykolyysiin, glukoosin imeytymiseen, glukoneogeneesiin ja lipolyysiin lihas- ja rasvakudoksessa. Armstrongin (2002, 190) mukaan ne kiihdyttävät myös sydämen sykettä, laajentavat verisuonia vähentäen periferistä vastusta, relaksoivat sileää lihaskudosta ja lisäävät veren virtausta lihaksissa, mutta vähentävät sitä ruoansulatuskanavassa.

Kofeiini vaikuttaa myös kehon nestetasapainoon. Se on diureetti, joka kiihdyttää munuaisten verenkiertoa, vähentää elektrolyyttien takaisimeytymistä tubuluksista ja lisää

virtsan eritystä. Tutkimuksessa, jossa vertailtiin kofeiinin ja veden diureettisia ominaisuuksia todettiin, että kofeiini lisää virtsaneritystä vain niukasti enemmän kuin vesi. Silti Armstrong (2002) varoittaa nestehukkariskistä, mikäli fyysinen rasitus on kovaa, olosuhteet kuumat ja kofeiinia käytetään runsaasti.

Suurina annoksina kofeiini vaikuttaa myös elimistön hormonituotantoon. Noin viisi kupillista kahvia kerralla saattaa nostaa seerumin kortikosteroniarvoja ja laskea kasvuhormoni ja TSH-arvoja. Beeta-endorfiiniarvot saattavat myös kohota. (Armstrong 2002)

## **2.1 Toleranssi ja riippuvuus**

Kofeiini aiheuttaa riippuvuutta jo 4-5 päivän kuluessa säännöllisesti käytettynä. Riippuvuus kehittyy pienilläkin päivittäisillä annoksilla (4 mg/kg, 2-3 kuppia suodatinkahvia/päivä), mutta suurilla annoksilla se saa erilaisen ilmenemismuodon. Riippuvuus voidaan havaita virtsan erityksestä, verenpaineesta, sykkeestä, unensaannista, syljenerityksestä ja hormonimetaboliasta. Eddyn ja Downsin (1928, Armstrongin 2002, 192 mukaan) kokeessa tutkittiin diureettisen vaikutuksen kehittymistä, kun koehenkilöt olivat pidättäytyneet kofeiinin käytöstä kahden kuukauden ajaksi. Diureettinen vaikutus havaittiin jo 0,48mg/kg annoksella, mikä tarkoittaa 70 kg henkilöllä viidesosa kupillista kahvia. Koe toistettiin ilman ”kofeiinilomaa”, jolloin koehenkilöiden kofeiinin käyttötottumukset vaikuttivat tulokseen. Nyt diureettisen vaikutuksen aikaansaamiseksi tarvittiin 1,12 mg/kg kofeiinia. Hyvin paljon kofeiinia (12mg/kg) käytettäessä kofeiini ei ehdi poistua elimistöstä, eikä toleranssivaikutusta esiinny.

Kofeiini aiheuttaa paljon käytettynä myös sivuvaikutuksia. Niitä ovat mm. vapina, sydämen lyöntitiheyden nousu, hermostuneisuus, keskittymiskyvyn heikentyminen, ahdistus- ja paniikkioireet (Dager ym. 1999, 229, 235). Kofeiinin käytön seurauksena aivojen laktaattipitoisuuden on todettu nousseen, mutta nousulla ei ole yhteyttä sivuvaikutusten syntyyn. Jacobson ym. (1992, 279) varoittaa, että liiallinen kofeiini ja fyysinen rasitus yhdessä saattavat myös aiheuttaa sivuvaikutuksia, kuten väsymystä, nestehukkaa, muistinmenetystä ja hallusinaatioita.



### 3 KOFEIINI URHEILUSUORITUSTA PARANTAVA VAIKUTUS

Kofeiinin vaikutusta urheilusuoritukseen on tutkittu pitkään, aina 1960-luvulta asti. Kiistatonta tieteellistä näyttöä kofeiinin hyödystä on kuitenkin saatu ainoastaan kestävyysuorituksen osalta. Silti muidenkin lajien urheilijat käyttävät kofeiinipitoisia tuotteita harjoituksiin ja kilpailuihin valmistautumisessa sekä tottumuksellisesti ruokavaliossaan. Urheiluhistoria tuntee tapauksia, joissa kofeiinin käyttö on ollut varsin systemaattista ja sen vuoksi kofeiinin käyttöä rajoitettiin aina vuoden 2003 syksyyn asti. (Spriet & Howlett 2000.)

Lukuisat tutkimukset osoittavat, että kofeiinista on hyötyä urheilusuorituksissa, jotka kestävät yli 40 minuuttia (Spriet & Howlett 2000, 380). Vaikutus perustuu elimistön rasva-aineenvaihdunnan tehostumiseen ja triglyseridien käyttöön energianlähteenä. Lyhytkestoisemmissa suorituksissa, korkeintaan 20 minuuttia tai 4-7 minuuttia tai alle 90 sekuntia, kofeiinin hyödyistä ei ole päästy yksimielisyyteen. Lyhytkestoisissa urheilusuorituksissa pääasiallisena energianlähteenä ovat hiilihydraatit, joiden aineenvaihduntaan kofeiinilla ei ole todettu olevan yhteyttä. Kofeiinin hyötyvaikutuksen arvellaan johtuvan keskushermoston stimulaatiosta. (Nehlig & Debry 1994, 215.)

Epäselvien vaikutusmekanismien lisäksi virheitä tutkimuksiin ovat tuoneet vaihtelevat koeprotokollat. Tutkimuksissa käytetyt urheilusuoritukset ovat vaihdelleet muodoltaan, kestoaltaan ja intensiteetiltään. Myös kofeiini määrät vaihtelevat eri tutkimuksissa. Lisäksi tuloksiin vaikuttaa ratkaisevasti koehenkilön ravintotilanne, vireystila sekä kofeiinin käyttötottumukset ja -sieto. (Nehlig & Debry 1994, 215; Spriet & Howlett, 2000, 379)

### 3.1 Vaikutusmekanismit

Kofeiinin urheilusuoritusta parantavat vaikutukset voidaan jakaa Nehligin ja Debryn (1994) sekä Sprietin ja Howlettin (2000) tutkimuksiin nojaten kolmeen osaan.

#### 3.1.1 Metaboliavaikutus

Metaboliavaikutus on Sprietin ja Howlettin (2000, 384) mukaan yleisimmin tunnettu kofeiinin ergogeeninen vaikutus. Se perustuu rasva-aineenvaihdunnan nopeutumiseen ja glykokeenin käytön vähenemiseen kestävyystyypissä suorituksessa. Rasva-aineenvaihdunta tehostuu heti suorituksen alkuvaiheessa. Tällöin plasmasta on mitattavissa suurentunut vapaiden rasvahappojen määrä, edellyttäen että kofeiinia on nautittu vähintään 5 mg/kg n. puoli tuntia ennen suorituksen alkua. Solun sisäinen triglyseridien käyttö tehostuu ensimmäisen puolen tunnin aikana harjoituksen alkamisesta.

Glykokeenin vähentynyt käyttö energiantuotossa puolestaan perustuu lisääntyneeseen rasva-aineenvaihduntaan. Kun vapaiden rasvahappojen osuus veressä lisääntyy, glukosin hapetusprosessi lihasolussa vähenee. Vaikutus perustuu sitraatti- ja asetyyli-koentsyymi A-entsyymeihin, jotka lisääntyvät ja estävät edelleen fosfofruktokinaasin, pyruvaatti-dehydrogenaasin sekä heksokinaasin toimintaa. Ko. entsyymit ovat ratkaisevassa roolissa glykolyysiprosessiissa (McArdle ym. 2002). Seurauksena on merkittävä lasku lihassolun glukosin käytössä ja hapetuksessa. Kyseistä prosessia kutsutaan kirjallisuudessa glykokeenin varastoinniksi ja se alkaa ensimmäisen 15 minuutin aikana suorituksen alkamisesta. (Spriet & Howlett 2000, 384)

Adrenaliinin erityis ei vaikuta edellä mainitun metaboliavaikutuksen ilmenemiseen, vaikka lisääntyneellä adrenaliinierityksellä on Nienstedtin ym. (1999) mukaan yhteys rasva-aineenvaihduntaan. Spriet ja Howlett (2000, 384) siteeraavat artikkelissaan kolmea tutkimusta, joista ensimmäisessä todettiin suorituskyvyn parantuneen pienen (3mg/kg) kofeiiniannoksen nauttimisen jälkeen, veren vapaiden rasvahappojen määrän kuitenkin kohoamatta. Toisessa tutkimuksessa (Chesley ym. 1995) koehenkilöille annettiin adrenaliinia suonensisäisesti jäljitellen kofeiinin aiheuttamaa adrenaliinitason nousua. Infuusio ei vaikuttanut veren vapaiden rasvahappojen määrään eikä lihaksen

glykolyysiin suorituksen aikana. Kolmas tutkimus (Van Soeren ym. 1996) totesi selkädinvauriopotilailla rasva-aineenvaihdunnan kiihtyneen, muttei adrenaliinitason nousseen kofeiiniannoksen jälkeen. Spriet ja Howlett (2000) arvioivat rasva-aineenvaihdunnan kiihtymisen johtuvan adenosiniinestosta rasvakudoksessa. Nehlig ja Debry (1994, 216) pitävät kuitenkin kofeiinin ja katekoliamiinien vaikutusta metabolia-vaikutukseen selvänä.

### **3.1.2 Keskushermostovaikutus**

Kofeiinin keskushermostoa stimuloiva vaikutus on kiistatta yksi sen suoritusta parantavista vaikutuksista (Spriett & Howlett 2000, 385). Schwenk ja Costley (2002, 907) kutsuvat kyseistä mekanismia kofeiinin suoraksi vaikutukseksi. Suoran vaikutuksen määrää verrattuna metabolia- ja solutasovaikutukseen on kuitenkin mahdotonta arvioida. Kofeiini piristää, vähentää väsymyksen tunnetta ja lisää valppautta. Mm. Bellin ja McLellanin (2002) tutkimuksessa kofeiini viivästytti väsymyksen tunnetta verrokkeihin nähden, kun koehenkilöt suorittivat kolmea erilaista testiä uupumukseen asti.

Kofeiinin on todettu vaikuttavan myös subjektiivisiin tuntemuksiin urheilusuorituksen aikana. Suorituksen subjektiivista rasittavuutta voidaan mitata standardoidulla numerisoidulla RPE-asteikolla (McArdle ym. 2002). Numerot ovat suuruus järjestyksessä ja niistä koehenkilö valitsee rasittavuutta parhaiten kuvaavan luvun. Costillin ym. (1978, Sprietin ja Howlettin 2000 mukaan) tutkimuksessa kofeiinia saaneet koehenkilöt arvioivat suorituksensa kuormittavuuden pienemmäksi kuin verrokkit, vaikka kuorma oli molemmilla ryhmillä sama. Ivyn (1979, Sprietin ja Howlettin 2000 mukaan) tutkimuksessa koehenkilöt, jotka olivat saaneet kofeiinia, tuottivat suuremman tehon verrattuna kontrolliryhmään, kun heitä käskettiin liikkua samalla RPE-arvolla. Nehlig ja Debry (1994, 218) sekä Cole ym. (1996, Sprietin ja Howlettin 2000 mukaan) ovat kuitenkin sitä mieltä, että vaikutus johtuu motoneuronien syttymiskynnyksen alenemisesta, jolloin keskushermostoon työskentelevästä lihaksesta tulevat viestit eivät vastaa kuormitusta. Nehlig (1992, Sprietin ja Howlettin 2000 mukaan) spekuloi subjektiivisten vaikutusten syntymekanismia myös sillä, että kofeiini lisäisi beeta-endorfiinin ja muiden tunnetiloihin vaikuttavien hormonien määrää. Kyseiset hormonit vähentäisivät näin kivun ja väsymyksen tunnetta raskaissa kuormituksissa.

### 3.1.3 Vaikutus solutasolla

Nehlig ja Debry (1994) sivuavat tutkimuksessaan 182 lähdetä ja jakavat kofeiinin vaikutukset solutasolla kolmeen osaan:

1. *Lihassolussa* metyyliksantiinit vaikuttavat sarkoplasmisen kalvoston kalsiumtasapainoon, jolla on merkittävä osuus lihassupistuksen alkamisessa. Metyyliksantiinit mobilisoivat kalsiumioneja sarkoplasmisesta kalvostosta ja lisäävät supistuvan koneiston herkkyyttä sille. Samalla aine estää sarkoplasmisen kalvoston kalsiumionien vastaanottoa muualta, mikä lisää lihassolussa olevien ionien käyttöä lihassupistukseen. Lisääntynyt kalsiumin vapautuminen alentaa motoristen yksiköiden syttymiskynnystä ja lihassupistus alkaa herkemmin. Kofeiini lisää myös lihastonuksen kehittymistä ja herkistävät supistuvaa koneistoa hyödyntämään solunsisäisen kalsiumin. Lihassolun herkkyys kofeiinille riippuu sarkomeerin pituudesta ja solutyypistä. Tyypin I solut ovat herkempiä kofeiinille kuin tyypin II. Edellä mainittujen vaikutuksen aikaansaamiseksi tarvitaan erittäin suuri annos kofeiinia, joka ei ole saavutettavissa luonnollisissa olosuhteissa. (Nehlig ja Debry 1994)

Kofeiinin on todettu lisäävän lyhytkestoisessa suorituksessa lihaksen laktaattipitoisuutta. Esim. Krukin ym. (2001) tutkimuksessa veren laktaattipitoisuus oli noussut minuuttia 60 sekunnin hyppytestin jälkeen korkeammaksi kuin kontrolliryhmällä. Veren laktaattipitoisuuden nousua edeltää laktaattipitoisuuden nousu lihassolussa (McArdle & Katch 1996).

Lindingerin ym. (1996, Sprietin ja Howlettin 2000 mukaan) mukaan metyyliksantiinit stimuloivat myös lihassolukalvon natrium-kalium-pumpun (Na-K ATPaasi) toimintaa. Natrium-kalium ATPaasi entsyymi säätelee solun sisäistä natrium ja kalium tasapainoa (Nienstedt ym. 1999). Metyyliksantiinien aiheuttama muutos ilmenee lisääntyneenä kaliumin tarpeena ja natriumin poistona solusta. Myös plasman kalium pyrkii nousemaan, mikä saattaa auttaa membraanipotentialin ylläpitämisessä työskentelevässä lihaksessa.

2. *Muissa kudoksissa* (myös lihaskudoksessa) kofeiini vaikuttaa syklisen AMP:n (cAMP) toimintaan. cAMP toimii solussa nk. toisiolähehtinä. Se välittää solukalvon ulkopuolelle tulevan humoraalisen ”viestin” solukalvoreseptorien avulla solun sisään (Niensted ym. 1999). Suurten metyyliksantiiniannosten on todettu estävän cAMP:n hajottamiseen tarvittavan fosfodiesteri-entsyymien toimintaa. Näin ollen cAMP solussa lisääntyy ja sen toiminta tehostuu. Edellä mainittujen vaikutusten myötä cAMP:n kautta vaikuttavien hormonien, kuten katekoliamiinien (adrenaliini ja noradrenaliini) vaikutus tehostuu. Kyseiset hormonit osallistuvat mm. hiilihydraattien ja rasva-aineiden metaboliaan, rekrytoiden näitä energianlähteitä lihassolun energiantuottoon. On kuitenkin epäselvää vaikuttaako kofeiini energia-aineenvaihduntaan tätä kautta. Sprietin ja Howlettin (2000, 386) mukaan kofeiinilla, katekoliamineilla ja em. energialähteillä ei ole keskinäistä yhteyttä. Tätäkään vaikutusta ei ole saatu aikaan luonnollisissa olosuhteissa. Nehlig ja Debryn (1994, 216) mukaan cAMP-vaikutus toteutuu ainoastaan erittäin suurilla annoksilla, jotka eivät ole mahdollisia luonnollisissa olosuhteissa.
  
3. *Hermosoluissa* metyyliksantiinit vaikuttavat adenosiniinireseptoreihin. Adenosiniini on aine, joka vähentää hermosolujen spontaania sähköistä aktiivisuutta ja synapsien välistä yhteyttä. Se vähentää myös neurotransmittereiden, eli hermosolujen välittäjäaineiden vapautumista. Adenosiniinireseptoreja on kahdenlaisia, A1-reseptorit ovat erittäin herkkiä adenosiniinille ja A2-reseptorit passiivisia. Kofeiini ja teofylliini vaikuttavat molempiin reseptoreihin. Ko. aineiden vaikutus perustuu adenosiniinin rauhoittavan vaikutuksen estoon (kilpaileva esto). Hermo-lihasjärjestelmän toimintaa kofeiini kiihdyttää alentamalla motoneuronien syttymiskynnystä. Tämä saattaa tapahtua myös adenosiniinieron vaikutuksesta. Myös Schwenkin ja Costleyn (2002, 907) mukaan kofeiini vaikuttaa aivojen välittäjäaineiden, kuten noradrenaliinin ja dopamiinin kautta. Adenosiniinin kilpailevan estovaikutuksen saavuttamiseksi ei tarvita yhtä suuria kofeiiniannoksia kuin kahdessa edellisessä tapauksessa. Se on saavutettavissa jo 0,1 millimoolin plasmakonsentraatiolla, joka vastaa noin kahta kahvikupillista.

### 3.2 Kofeiinin vaikutus kestävyysuorituksen

McArdlen ym. (2002) mukaan kestävyysuorituksessa elimistö tuottaa energiaa sekä aerobisesti, että anaerobisesti. Aerobisessa energiantuotossa rasvojen käyttö energianlähteenä tehostuu kun kuormitusta jatketaan vähintään 30 minuuttia. Kofeiini vaikuttaa Sprietin ja Howlettin (2000) mukaan rasva-aineenvaihduntaa tehostavasti, jolloin siitä voidaan olettaa olevan hyötyä kestävyysuorituksessa.

Myös hyvin kontrolloiduissa tutkimuksissa 1990-luvulla on saatu tuloksia, jotka tukevat tätä väitettä. Esimerkiksi Grahamin ja Sprietin (1991) (ks. Spriet & Howlett 2000, 380) tekemässä tutkimuksessa hyvin harjoitelleet urheilijat suorittivat uupumukseen asti johdaneet polkupyörä- ja juoksumattotestit 80–85 % teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä. Tulokset paranivat kofeiinin nauttimisen seurauksena juoksumattotestissä 44 % ja polkupyörätestissä 51 %.

Kofeiinin on todettu lisäävän hapenkulutusta myös harjoituksen jälkeen. Chadin & Quigleyn (1989, Nehligin & Debryn 1994, mukaan) ja Donellyn & McNaughtonin (1992, Nehligin & Debryn 1994 mukaan) tutkimukset koskivat liikunnallisesti passiivisia naisia. Heidän hapen- sekä energiankulutuksensa havaittiin nousseen pitkäksi aikaa 90 minuuttia kestäneen kuormituksen jälkeen. Kofeiiniannoksella ei tässä tapauksessa havaittu olevan suurta vaikutusta. Tämän kaltaisesta tiedosta saattaa olla hyötyä lihavuuden hoidosta.

## **4 KOFEIININ VAIKUTUS LYHYTKESTOISEEN SUORITUKSEEN JA VOIMASUORITUKSEEN**

Kofeiinin vaikutus lyhytkestoiseen urheilusuoritukseen on epäselvempi, kuin kestävyysuoritukseen. Aiheetta on jonkin verran tutkittu, mutta kiistatonta näyttöä kofeiinin vaikutuksesta ei ole saatu. Lyhytkestoinen urheilusuoritus kestää Sprietin ja Howlettin (2000, 382) määritelmän mukaan 30 sekunnista 20–40 minuuttiin. Teholtaan suoritus on 80–300 % maksimaalisesta hapenottokyvystä (% VO<sub>2</sub> max).

Lyhytkestoisessa urheilusuorituksessa pääasiallisina energianlähteinä ovat ATP, kreaatiinifosfaatti ja hiilihydraatit (McArdlen ym. 2002). Lyhytkestoisessa suorituksessa elimistö ei pysty täyttämään lihasten hapentarvetta täysin, jolloin energia tuotetaan anaerobisessa glykolyysissä. Anaerobisen glykolyysin seurauksena lihaksiin kehittyy laktaattia. Spriet ja Howlett luokittelevat anaerobisen glykolyysin osuuden energiantuotosta suorituksen keston mukaan. Prosentit ovat 30 sekunnin suorituksessa 75–80 %, 60 s suorituksessa 65–70 % ja 90 sekunnin suorituksessa 55–60 % (Spriet & Howlett, 2000, 382).

Spriet ja Howlett (2000, 382) painottavatkin, että kofeiinin rooli lyhytkestoisessa suorituksessa on muuta kuin metaboliavaikutus (ks. kappale 3.1.1). Nehlig ja Debry (1994, 217) tukevat niin ikään tätä väitettä ja arvelevat vaikutuksen johtuvan keskushermoston stimulaatiosta tai lihassolun kalsiumtasapainon muutoksista (ks. 3.1.2 ja 3.1.3). Lisäksi kofeiinin on todettu lisäävän sekä lihassolun, että veren laktaattipitoisuutta lyhytkestoisen kuormituksen jälkeen (Kruk ym. 2001, 217; Collomp ym. 1991, 377).

### **4.1 Kuormitus kestoltaan 8-40 minuuttia**

Doddin (1993) mukaan kofeiinista ei ole hyötyä kuormitustesteissä (8-20 minuuttia), joissa kuormitusta lisätään uupumukseen asti (Spriet & Howlett 2000). McNaughtonin (1987) tutkimuksessa tulokset olivat kuitenkin päinvastaisia (Spriet & Howlett 2000). 20–40 minuuttia kestävässä intensiivisissä aerobisissa suorituksissa kofeiinista on todet-

tu olevan hyötyä. MacIntoshin ja Wrightin (1995, Sprietin ja Howlettin 2000, mukaan) tutkimuksessa kilpauimarit uivat 1500 metriä sekä kofeiinin vaikutuksen alaisena, että ilman. Uintiajat lyhenivät kofeiinin vaikutuksesta 21.22 minuutista 20.59 minuuttiin. Tutkijat mittasivat uimareilta plasman vähentyneen Kaliumkonsentraation ja lisääntyneen harjoituksen jälkeisen glukoosikonsentraation. Näillä tekijöillä arvellaan olevan yhteytensä kofeiinin hyödyttävään vaikutukseen. Bell ja McLellan (2002) tutkivat kofeiinin vaikutusta kolmeen eri 80 % VO<sub>2</sub> max –tehoiseen suoritukseen. Kofeiini pidensi uupumukseen asti kestävän suorituksen aikaa 7-8 minuuttia riippuen siitä oliko kofeiiniannos otettu 1, 3 vai 6 tuntia ennen testiä.

## **4.2 Kuormitus, kestoltaan alle 8 minuuttia, ja voimasuoritus**

Lyhytkestoisemmissa suorituksissa tutkimustulokset ovat niin ikään ristiriitaisia. Dohertyn (1998) tutkimuksessa kofeiinin vaikutusta selvitettiin supramaksimaaliseen lyhytkestoiseen (3-4 min) juoksutestiin. Tutkimuksen mukaan maksimaalinen happivelka (Maximal accumulated oxygen deficit) sekä uupumukseen kulunut aika piteni kofeiinin ansiosta. Collomp ym. (1991) raportoivat 100 % VO<sub>2</sub> max –teholla suoritettua, uupumukseen asti johtavaa, polkupyörätestiä aikojen lisääntyneen 5.20 minuutista 5.49 minuuttiin kofeiiniryhmällä. Kofeiinin hyödyistä raportoi myös Wiles ym. (1992), jonka ensimmäisessä tutkimuksessa 1500 metrin juoksun ajat lyhenivät 150–200 mg kofeiiniannoksen seurauksena. Toisessa tutkimuksessaan kuntoilijatasen koehenkilöt juoksivat 1100 metriä ennalta määrättyllä vauhdilla ja tämän päälle 400 metriä niin nopeasti kuin pystyivät. Viimeiseen 400 metriin kuluneet ajat olivat kofeiiniryhmällä 61.25 minuuttia ja kontrolliryhmällä 62.88 sekuntia. Paton ym. (2001, 822) puolestaan jäljittelivät tutkimuksessaan joukkuelajien kuormitusta, siten että koehenkilöt juoksivat 10 20 metrin sprinttiä niin, että jokaiseen sprinttiin oli aikaa korkeintaan 10 sekuntia. Jos sprintin juoksi nopeammin kuin 10 sekuntia jäi jäljelle jäänyt aika palautumiseen. Kymmenenteen sprinttiin kulunut aika oli kofeiiniryhmällä pidempi kuin verrokeilla, joten tutkijoiden mukaan kofeiinista ei ole hyötyä tämän tyyppisissä kuormituksissa, eivätkä he näe kofeiinilla olevan hyödyttäviä vaikutuksia joukkuelajeihin, joissa kuormitus olisi tämän kaltainen.



Voimasuorituksista tehdyissä tutkimuksissa tulokset ovat myös ristiriitaisia. Krukin ym. (1999) tutkimuksessa selvitettiin kofeiinin vaikutusta 60 sekuntia kestäväan hyppytestiin. Hypyt olivat vertikaalisia ja nk. jatkuvia. Koehenkilöiltä mitattiin testin aikana sekä EMG että laktaatit. Laktaatin mittausta suoritettiin ennen testiä, välittömästi testin jälkeen ja viisi minuuttia testin jälkeen. Kofeiini ei vaikuttanut EMG:hen, mutta laktaattiarvot olivat 5 minuuttia testin jälkeen mitattuna korkeammat kuin verrokeilla. Lopez (1983) ym. stimuloivat koehenkilöidensä adductor pollicis lihasta sähköisesti 10, 20, 30, 50 ja 100 Hz taajuuksilla. Stimulaatio toistettiin kahteen kertaan. Testikertojen välissä oli fyysinen kuormitus, jonka avulla haluttiin selvittää onko lihaksen väsymystilalla ja kofeiinilla yhteyttä voimantuottoon. Koehenkilöille annettiin ennen testejä 50 mg kofeiinia tai placeboa. Ennen väsymystä tuotetut voimat olivat kofeiiniryhmällä suuremmat kaikilla paitsi 100 Hz taajuudella. 100Hz taajuudella voima-arvot olivat samat. Väsymyksen jälkeen tuotetut voimat olivat suuremmat kofeiiniryhmällä, taajuuksilla 20,30 ja 50 Hz. Taajudella 100 Hz voima oli verrokkiryhmällä suurempi. Tutkijoiden johtopäätös olikin, että kofeiinista on hyötyä voimantuotossa tämän tyyppisessä koetilanteessa. Jacobson ym. (1992) tutkivat kofeiinin vaikutusta maksimaaliseen voimaan huippu-miesurheilijoilla. Tutkimuksessa käytetty kofeiiniannos oli 7mg/kg ja kuormitettava lihasryhmä oli alaraajojen lihakset. Maksimaalinen voima mitattiin dynamometrillä polven ojennus- ja koukistus testissä. Tulokset tukevat pienin varauksin olettamusta, että kofeiinista olisi hyötyä säännöllisesti voimaharjoittelua tehneillä huippu-urheilijoilla. Williamsin ym. (1988, Sprietin & Howlettin 2000, mukaan) tutkimuksessa koehenkilöt polkivat polkupyöräergometrillä maksimaalisia lyhyitä spurteja. Kofeiinilla ei ollut tutkimuksen mukaansa vaikutusta maksimivoimaan eikä lihaskestävyyteen.

## 5 TUTKIMUSONGELMAT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää onko kofeiinilla vaikutusta voimasuoritukseen ja lyhytkestoiseen tehoa vaativaan urheilusuoritukseen nuorilla aikuisilla. Perustelu tutkimukselle on se, että kyseisiä ominaisuuksia vaativien urheilulajien edustajien, kuten palloilijoiden, keskuudessa kofeiini on varsin yleisesti käytetty aine.

Tarkat tutkimusongelmat:

1. Millainen vaikutus kofeiinilla on alaraajojen yksittäiseen maksimaaliseen voimantuottosuoritukseen?
2. Millainen vaikutus kofeiinilla on räjähtävään voimantuottoon yksittäisessä maksimaalisessa vertikaalihypyssä?
3. Millainen vaikutus kofeiinilla on maksimaaliseen anaerobiseen kestävyyteen 30 sekunnin jatkuvassa vertikaalisessa hyppelytestissä?
4. Millainen vaikutus kofeiinilla on reaktiokykyyn yksinkertaisessa ärsyke-reaktio-testissä sekä valintareaktiotestissä.

## 6 TUTKIMUSASETELMA JA -MENETELMÄT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää onko kofeiinilla vaikutusta voima- ja tehosuoritukseen sekä reaktiokykyyn nuorilla aikuisilla. Voimasuoritus koostui alaraajojen maksimaalisen isometrisen voiman mittauksesta, tehosuoritus ponnistusvoiman sekä anaerobisen kestävyuden mittaamisesta hyppymatolla ja reaktiokyky reaktionopeuden sekä valintareaktiotestin suorittamisesta siihen suunnitellulla laitteella. Kofeiini (n. 8 mg/kg) ja vastaava placeboannos annettiin kapseleina vähintään tuntia ennen testien alkamista. Tutkimus toteutettiin keväällä 2006 Jyväskylässä ja koehenkilöinä oli 10 nuorta aikuista, seitsemän miestä ja kolme naista, iältään 20–28 vuotta. Koehenkilöistä suurin osa oli liikuntatieteiden opiskelijoita ja he olivat tutkimuksessa mukana vapaaehtoisesti. Koehenkilöiden liikuntataustansa vaihteli kansallisen tason kilpaurheilijoista kuntoilijoihin. Koehenkilöt käyttivät päivittäisessä ruokavaliossaan kofeiinipitoista tuotteita, eikä niiden käyttöä kontrolloitu tutkimuksen aikana.

### 6.1 Testit

*Voimaa* mitattiin alaraajojen ojentajalihasten maksimaalista isometristä voimaa mittavalla voimadynamometrillä. Dynamometri oli yhteydessä tietokoneeseen, jossa isometriseen voimamittaukseen tarkoitettu tietokoneohjelma analysoi suorituksen ja antoi tuloksen. Tuloksista käytettiin tähän tutkimukseen vain maksimaalisen isometrisen voiman huippuarvo, vaikka tietokoneohjelmalla pystyttiinkin analysoimaan myös muita muuttujia, kuten voimantuottoaika. Suorituksessa koehenkilö asettui dynamometrin penkkiin 110° polvikulmaan (asteluku mitattiin goniometrillä) ja teki yhden harjoitus-suorituksen sekä kolme varsinaista mittaussuoritusta, joista paras otettiin huomioon.

*Räjähtävää voimaa* mitattiin ponnistusvoimaa mittaavan hyppymaton avulla. Mitattava muuttuja oli koehenkilön nousukorkeus (cm). Testinä käytettiin esikevennettyä hyppyä, jossa testattava ponnisti esikevennyksen jälkeen maksimaalisesti ylöspäin pitäen kätet lanteillaan. Ponnistuksen alussa oli käytävä 90° polvikulmassa, sitä kontrolloi mittaushenkilö. Koehenkilöt hyppäsivät kolme hyppyä, joista paras tulos otettiin huomioon.

*Anaerobista kestävyyttä* mitattiin 30 sekuntia kestäväällä hyppelytestillä, jossa tehtiin jatkuvana 90° polvikulmasta lähteviä maksimaalisia ponnistuksia ylöspäin. Testistä analysoitiin kunkin hypyn lentoajat, joiden pohjalta laskettiin 30 sekunnin aikana tuotettu mekaaninen teho (wattia). Koehenkilöt suorittivat testin kerran ja heitä kannustettiin testin aikana.

*Reaktionopeutta* mitattiin tarkoitukseen kehitetyllä laitteella. Laite antoi näköaistiin kohdistuvan ärsykkeen (punaisen lampun syttyminen), johon piti reagoida mahdollisimman nopeasti (paina laitteessa olevaa painiketta). Testissä oli kaksi eri osiota, joissa mitattiin reaktioon kulunutta aikaa (ms). Ensimmäisessä testissä mitattiin puhdasta reaktionopeutta (yksinkertainen reaktionopeus). Siinä koehenkilö vain odotti, milloin laitteen tietty lamppu syttyi ja reagoi siihen mahdollisimman nopeasti. Toinen osio oli valintareaktiotesti. Siinä koehenkilö ei etukäteen tiennyt, mikä laitteen neljästä lampusta syttyi. Lampun syttyttyä testattava painoi laitteen painiketta mahdollisimman nopeasti. Testeissä ärsyke toistui viisi kertaa. Viidestä reaktioajasta tutkimukseen otettiin mukaan kolme toisiaan lähimpänä ollutta. Näistä laskettiin edelleen keskiarvo, joka on testituloks.

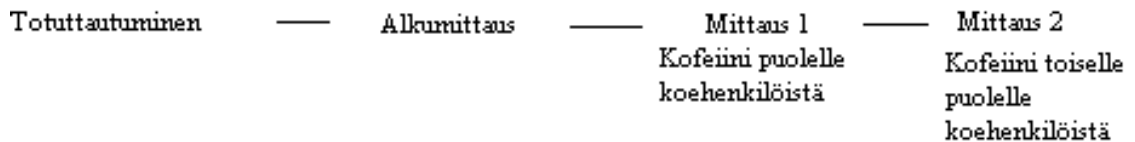
## 6.2 Tutkimuksen kulku

Tutkimus kesti yhteensä kaksi viikkoa ja käsitti neljä mittausta, joita olivat: 1. testeihin tutustuminen ja totuttautuminen, 2. alkumittaus, 3. interventio ja mittaus I, 4. interventio ja mittaus II (kaavio 1). Ensimmäisessä interventiossa puolet koehenkilöistä sai joko kofeiinikapseleita tai placebokapseleita ja toisessa interventiossa osat vaihtuivat. Mittausten välillä oli vähintään kaksi lepopäivää.

### Kaavio 1. Tutkimuksen kulku.

- Totuttautuminen
- Alkumittaus
- Mittaus 1 (Kofeiini puolelle koehenkilöistä)
- Mittaus 2 (Kofeiinin toiselle puolelle koehenkilöistä)

Tutkimuksessa käytettiin kofeiini- ja placebokapseleita, jotka valmistettiin tutkimusta varten apteekissa. Kofeiini ja placebo -interventio annettiin kaksoissokkokeen tavoin. Ulkopuolinen avustaja sekoitti ulkonäöltään samanlaiset kapselit niin, etteivät koehenkilöt eivätkä mittaushenkilö tiedneet kuka koehenkilöistä kulloinkin sai kofeiinia. Kofeiiniannos oli noin 8 mg/kg. Annos koottiin 100 mg ja 300 mg kapseleista ja suhteutettiin koehenkilön kehon painoon. Kofeiini nautittiin viimeistään tuntia ennen testiin tuloa. Koehenkilöiden ruokavaliota ei kontrolloitu eikä heitä vaadittu olemaan testipäivänä ilman kofeiinia.



### 6.3 Aineiston analysointi

Testien mittaustuloksia analysoitiin siten, että kunkin koehenkilön niiltä mittauskerroilta, joilla annettiin jompikumpi interventioista, eriteltiin kofeiini- ja placebo-interventiotulokset ja muodostettiin niistä kaksi eri muuttujaa. Näiden muuttujien keskiarvoja vertailtiin alkumittaustulosten keskiarvoon. Keskiarvojen eroja testattiin parittaisella t-testillä, jonka merkitsevyyssarvon rajana oli p-arvo .05 ( $p < .05^*$  = melkein merkitsevä,  $p < .01^{**}$  = merkitsevä). Aineiston analysoinnissa käytettiin Microsoft Excel 2003 – taulukkolaskentaohjelmaa.

### 6.4 Tutkimuksen luotettavuus

*Reliabiliteetti*

Tutkimuksen toistettavuus on tämän tyyppisessä tutkimuksessa hyvä. Tähän on yhtenä syynä se, että laitteet ja testit, joita käytettiin, ovat standardoituja ja ohjaavat oikeaan suoritustekniikkaan. Esimerkiksi voimamittauksessa koehenkilön suoritusasento vakioitiin tarkoin mittausvälineiden avulla. Anaerobista kestävyyttä mittaavassa 30 sekunnin hyppelytestissä polvikulman vakiointi oli kuitenkin puutteellista ja se saattoi aiheuttaa yksittäisellä koehenkilöllä virheellisiä testituloksia. Kofeiinin vaikutuksen vakiointi olisi voinut niin ikään olla tehokkaampaa. Vireystilaa, ruokavaliota ja fyysisen rasituksen tilaa testijakson aikana olisi voitu kontrolloida paremmin, koska niillä voidaan olettaa olevan vaikutusta testituloksiin. Käytettävissä olleilla resursseilla tätä ei kuitenkaan pystytty tekemään.

### *Validiteetti*

Tutkimuksen validiteetti on niin ikään hyvä. Käytetyt testit on suunniteltu tarkasti siihen ominaisuuteen mitä oli tarkoituskin testata. Lisäksi ne ovat standardoituja ja niitä on käytetty laajasti muissa yhteyksissä. Tutkimuksen eräänä tarkoituksena oli mallintaa mm. pallopeleissä tarvittavia ominaisuuksia ja pyrkiä selvittämään olisiko kofeiinista hyötyä niihin. Pallopeleissä vaadittavat ominaisuudet ovat kuitenkin niin monipuoliset, että tutkimuksen ulkopuolelle jäi väistämättä niistä joitakin, kuten kestävyys. Voiman, räjähtävän voiman ja anaerobisen kestävyuden voidaan kuitenkin todeta olevan olennaisimpia osa-alueista, joita pallopelien yksittäisissä vaihdoissa ja spurteissa tarvitaan. Siksi tutkimus on tältä osin validi.

## 7 TULOKSET

### 7.1 Kofeiinin vaikutus alaraajojen voimaan

Testin tarkoituksena oli mitata alaraajojen ojentajalihasten maksimaalinen isometrinen voima ennen ja jälkeen kofeiini- ja placebointervention sekä seurata miten voima muuttuu käsittelyjen seurauksena. Alkumittauksessa koehenkilöiden alaraajojen keskimääräinen isometrinen voima oli 2782,2 Newtonia (keskihajonta 698,009) ja kofeiinin vaikutuksen alaisena 2752,3 N (kh 644,595) (Taulukko 1). Placebointervention jälkeen keskimääräinen voima oli 2789,9 N (kh 681,2088). Kofeiinikäsittelyn jälkeen voimakeskisarvo oli siis alhaisempi kuin alkumittauksessa. Placebokäsittelyn jälkeen se oli puolestaan korkeampi. Kaksisuuntaisella parittaisella t-testillä mitattuna erot eivät kuitenkaan olleet merkitseviä kun merkitsevyyden rajana oli p-arvo .05. P-arvo oli alkumittauksen ja kofeiinikäsittelyn välillä .287 ja alkumittauksen ja placebokäsittelyn välillä .465. Voidaan siis todeta, että kofeiinilla ei tämän testin mukaan ole sen puolin parantavaa eikä liioin heikentävää vaikutusta alaraajojen maksimaaliseen voimantuottoon.

**Taulukko 1. Koehenkilöiden alaraajojen maksimaalinen isometrinen voima (Newton) eri mittauskerroilla.**

	Keskiarvo	Keskihajonta	Kaksisuuntaisen t-testin p-arvo
Alkumittaus	2782,2	698,009	
Kofeiini	2752,3	644,595	.287
Placebo	2789,9	681,2088	.465

### 7.2 Kofeiinin vaikutus räjähtävään voimantuottoon

Testin tarkoituksena oli mitata räjähtävää voimantuottoa ennen ja jälkeen kofeiini- ja placebointervention sekä havaita miten kofeiini ja placebo vaikuttavat näihin ominai-

suuksiin. Alkumittauksessa koehenkilöiden keskimääräinen nousukorkeus esikevennyksessä hypyssä oli 38,7 cm. Kofeiinin vaikutuksen alaisena nousukorkeus oli 38,9 cm ja placebon vaikutuksen alaisena 38 cm. Kofeiinin ja alkumittauksen keskiarvot olivat lähestulkoon samat, joskin kofeiinilla piirun korkeampi. Placebokäsittelyn vaikutuksesta keskiarvo oli lievästi alhaisempi kuin alkumittauksessa. Kaksisuuntaisella parittaisella t-testillä testattuna keskiarvojen erot eivät kuitenkaan olleet merkitseviä, kun merkitsevyyden rajana oli p-arvo .05. P-arvo oli alkumittauksen ja kofeiinikäsittelyn välillä .785 ja alkumittauksen ja placebokäsittelyn välillä .256. Voidaan siis todeta, että kofeiinilla ei tämän testin mukaan ole parantavaa tai heikentävää vaikutusta myöskään räjähtävään voimantuottoon.

**Taulukko 2. Koehenkilöiden keskimääräinen nousukorkeus (cm) eri mittauskerroilla.**

	Keskiarvo	Keskihajonta	Kaksisuuntaisen t-testin p-arvo
Alkumittaus	38,7	6,009	
Kofeiini	38,9	5,896	.785
Placebo	38	6,306	.265

### 7.3 Kofeiinin vaikutus anaerobiseen kestävyteen

Testin tarkoituksena oli mitata koehenkilön 30 sekunnin aikana tuottamaa mekaanista tehoa ennen ja jälkeen kofeiini- ja placebointervention sekä havaita miten kofeiini ja placebo vaikuttavat tehoon. Alkumittauksessa koehenkilöiden keskimääräinen mekaaninen teho oli 20,15 W. Kofeiinin vaikutuksen alaisena teho oli 19,828 W ja placebon vaikutuksen alaisena 20,22 W. Kofeiinimittauksen keskiarvo oli hieman alkumittausta alempi ja placebomittauksen korkeampi. Kaksisuuntaisella parittaisella t-testillä testattuna keskiarvojen erot eivät kuitenkaan olleet merkitseviä, kun merkitsevyyden rajana oli p-arvo .05. P-arvo oli alkumittauksen ja kofeiinikäsittelyn välillä .724 ja alkumittauksen ja placebokäsittelyn välillä .924. Kofeiinilla ei siis näytä tämän testin mukaan olevan anaerobista kestävyttä parantavaa tai heikentävää vaikutusta.

**Taulukko 3. Koehenkilöiden keskimääräinen mekaaninen teho (W) eri mittauskerroilla.**



	Keskiarvo	Keskihajonta	Kaksisuuntaisen t-testin p-arvo
Alkumittaus	20,15	3,249	
Kofeiini	19,828	3,298	.724
Placebo	20,22	3,047	.924

#### 7.4 Kofeiinin vaikutus reaktiokykyyn

Testin tarkoituksena oli mitata koehenkilön reaktiokykyä kahdella eri testillä (yksinkertainen reaktionopeus ja valintareaktio) ennen ja jälkeen kofeiini- ja placebointervention sekä havaita miten kofeiini ja placebo vaikuttavat näihin. Yksinkertaisen reaktionopeustestin alkumittauksessa koehenkilöiden keskimääräinen reaktioaika oli 180,33 ms. Samassa testissä kofeiinin vaikutuksen alaisena reaktioaika oli 163.07 ms ja placebon vaikutuksen alaisena 164,57 ms. Valintareaktiotestissä alkumittauksen keskiarvoaika oli 241,93 ms. Kofeiinimittauksen keskiarvoaika oli 211,36 ms ja placebomittauksen 206,73 ms. Yksinkertaisessa reaktionopeustestissä kofeiinimittauksen keskiarvoaika oli pienempi kuin alkumittauksessa, samoin placebomittauksen, mutta parittaisella t-testillä mitattuna ero ei ollut merkitsevää (p-arvot kaksisuuntainen t-testi: alku-kofeiini .213, alku-placebo .228) Valintareaktiotestissä kofeiinimittauksen sekä placebomittauksen keskiarvoajat olivat merkitsevästi alempia kuin alkumittauksen. Kaksisuuntaisen t-testin merkitsevyysarvot olivat alkumittauksen ja kofeiinimittauksen välillä .026\* ( $p < .05$ ) ja alkumittauksen ja placebomittauksen välillä .008\*\* ( $p < .01$ ). Alkumittauksen ja kofeiinimittauksen välillä ero oli melkein merkitsevä ja alkumittauksen ja placebomittauksen välillä merkitsevä.

**Taulukko 4. Koehenkilöiden reaktionopeusajat (ms) alkumittauksessa sekä kofeiini- ja placebointervention jälkeen.**

Yksinkertainen reaktionopeus			
	Keskiarvoaika (ms)	Keskihajonta	Kaksisuuntaisen t-testin p-arvo
Alkumittaus	180,33	47,43	
Kofeiini	163.07	48,7082	.213

Placebo	164,57	32,39343	.228
Valintareaktio			
Alkumittaus	241,93	55,24263	
Kofeiini	211,36	54,47742	.026*
Placebo	206,73	43,83831	.008**

## 8 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko kofeiinilla vaikutusta lyhytkestoiseen urheilusuoritukseen ja voimasuoritukseen. Samalla pyrittiin vahvistamaan aikaisemmissa tutkimuksissa (esim. Doherty 1998; Collomp ym. 1991; Wiles ym. 1992) syntynyt olettaus, jonka mukaan kofeiini parantaisi suorituskyykyä voima- ja teho tyyppisissä kuormituksissa. Tulokset kertovat kuitenkin, että kofeiinilla ei tässä tutkimuksessa käytettyjen menetelmien ja testien perusteella ole suoritusta parantavaa vaikutusta maksimaaliseen voiman tuottoon, anaerobiseen kestävyYTEEN eikä räjähtävään voimantuottoon. Reaktionopeuteen kofeiinilla voidaan varovasti katsoa olevan parantava vaikutuksensa, mutta samainen vaikutus ilmeni myös placebokäsittelyn jälkeen, joten yhtä päteviä selittäjiä voivat olla muut tutkimukseen vaikuttaneet tekijät, kuten oppiminen, intervention psyykinen vaikutus ja koehenkilöiden vireystilan muutokset. Tutkimus liittyy niiden aikaisemmin tehtyjen tutkimusten joukkoon (esim. Paton ym. 2001; Kruk ym. 1999), joissa ei ole pystytty osoittamaan kofeiinin teho- ja voimasuoritusta parantavaa vaikutusta.

Tutkimuksessa testattiin alaraajojen maksimaalista voimantuottoa, räjähtävän voiman tuottoa, anaerobista kestävyyttä sekä reaktiokyykyä. Tutkimuksessa ei mitattu veren laktaattipitoisuuden muutoksia, vaikka niiden on aikaisemmissa tutkimuksissa (Kruk ym. 2001; Collomp ym. 1991) havaittu olevan yhteydessä kofeiinin lyhytkestoisia suorituksia parantavaan vaikutukseen. Testien validiteetti oli hyvä. Suoritukset olivat kestoaltaan lyhyitä, maksimissaan 30 sekuntia, jolloin energiantuotto on pääosin peräisin kreatiini-fosfaatti- ja ATP –reserveistä sekä anaerobisesta glykolyysistä. Kofeiiniannosten antaminenkin tapahtui aikaisempien tutkimusten (esim. Doherty 1998) esimerkkejä noudat-

taen minimissään tuntia ennen suorituksen alkua, jolloin kofeiinin suurimman mahdollisen vaikutuksen katsotaan ajoittuvan testien ajalle (Armstrong 2002). Testien hyvä valideetti sulkee pois testiprotokollan vaikutuksen tutkimustulokseen ja siirtää ennakkoletuksen vastaisen tutkimustuloksen syyn toisaalle, joista tärkein lienee kofeiinin vaikutusmekanismi.

Kofeiinin vaikutusta teho- voimasuoritukseen on tutkittu jo pitkän aikaa, mutta vieläkin ei ole pystytty aukottomasti todistamaan onko kofeiinista hyötyä - ja jos on - niin mihin vaikutus perustuu. Kestävyysslajeissa kofeiinin vaikutuksen katsotaan olevan jokseenkin selvä. Se on peräisin rasva-aineenvaihduntaa tehostavasta metaboliavaikutuksesta (Spriett & Howlett 2000, 382), jonka seurauksena on havaittu hapenottokyvyn paranemista ja parantunutta rastiuksen sietokykyä (Bell ja McLellan 2002; MacIntosh & Wright 1995; Graham & Spriet 1991; McNaughton 1987). Lyhytkestoisessa tehosuorituksessa rasva-aineenvaihdunnan merkitys on kuitenkin häviävän pieni, joten kofeiinin vaikutuksen täytyisi olla muunlainen. Mahdollisiksi vaikuttajiksi on tarjottu keskushermostovaikutusta sekä vaikutusta lihassolussa. Molemmat vaikutusmekanismit on selvitetty tarkemmin aikaisemmin tässä tutkimuksessa (ks. 3.1.2. ja 3.1.3). Keskushermostovaikutus on näistä kahdesta tunnetumpi ja useaan kertaan todistettu subjektiivisia tuntemuksia mittaavissa tutkimuksissa (ks. Schwenk & Costley 2002, 907; Armstrong 2000). Kofeiini piristää, vähentää väsymyksen tunnetta ja lisää valppautta. Tähän nojaten sen on katsottu vaikuttavan myös tehoa ja voimaa vaativiin urheilu-suorituksiin. Tämän tutkimuksen perusteella näin ei kuitenkaan ole. Vaikka koehenkilöiden subjektiiviset kokemukset antoivatkin merkin siitä että kofeiini piristää, niin suorituksissa kofeiinitulokset eivät eronneet merkitsevästi alkumittauksen tuloksista missään muussa testissä kuin reaktionopeustestissä (kpl. 6). Tässä testissäkään vaikutuksen ei voida katsoa olevan peräisin kofeiinin fysiologisista mekanismeista, koska samanlainen merkitsevä ero alkumittaukseen nähden ilmeni myös placebon nauttimisen jälkeen. Tämä merkitsee sitä, että kofeiinin nauttimisella on myös psykofyysinen vaikutuksensa. Jo pelkkä ajatus piristeen nauttimisesta piristää. Pois ei voida myöskään sulkea mahdollista oppimisen tuomaa parannusta valintareaktiotestin tuloksiin. Koehenkilöillä ei ollut tutkimuksen alussa muuta kokemusta käytetystä testistä kuin muutama harjoittelukokeilu, joten se tuli tutkimuksen edetessä luonnollisesti tutummaksi. Kofeiinin fysiologisten vaikutusmekanismien tutkimiselle on tämän tutkimuksen perusteella jatkossa selvä tarve. Tutkimuskysymyksiä, joita pitäisi pohtia, ovat kofeiinin lihassoluvaiikutus, joka ei tämän

hetkisillä tiedoilla ole aukottomasti selvitetty (Nehlig & Debry 1994) sekä se, että voidaan kofeiinin teho- ja voimasuorituksia parantavaa vaikutusta selittää jollakin muulla keinoin kuin metabolia-, tai keskushermostovaikutuksella.

Tutkimuksen järjestelyissä ilmeni suunnittelusta huolimatta joitakin puutteita, jotka saattoivat pahimmassa tapauksessa vaikuttaa tutkimustuloksiin. Ensimmäinen koski koehenkilöiden fyysistä harjoittelua testiperiodin aikana. Harjoittelu pitäisi vakioida, jotta fyysiset tekijät, kuten lihaksiston ja hermoston väsymys, eivät pääsisi vaikuttamaan suoritusten tuloksiin. Vaikka koehenkilöitä ohjeistettiin ennen tutkimuksen alkua olemaan harrastamatta liikuntaa testien välillä, ilmeni koehenkilöiden testiin valmistautumisessa suuria eroja sekä henkilöiden välillä, että yksittäisten henkilöiden eri testikertojen välillä. Henkilö saattoi tulla ensimmäiseen testiin levänneenä kun taas toiseen testiin tunnin sulkapallopelin ja punttisaliharjoituksen jälkeen. Fyysisistä tekijöistä johtuvan vaikutuksen suuruutta on kuitenkin erittäin hankalaa arvioida. Oletettavasti se vaikutti, etenkin anaerobiseen kestävyystestiin, jossa syntyivät suurimmat erot yksittäisillä koehenkilöillä eri testikertojen välillä. Toisaalta testissä vaadittavat ominaisuudet saattoivat myös parantua tutkimuksen aikana, mikä saattoi vääristää tuloksia. Tämä koski etenkin sellaisilla koehenkilöillä, jotka eivät olleet tottuneet testeissä käytettyihin kuormituksiin, mutta myös muita sillä tavoin, että he saattoivat oppia suorittamaan testiä paremmin. Toinen puute koski ravintotekijöiden vaikutusta tuloksiin. Koehenkilöiden ravitsemusta ei kontrolloitu testiperiodin aikana muuten, kuin että he pyrkivät tulemaan testeihin samaan aikaan päivästä, jolloin he olivat ajoittaneet ruokailunsa samalla tavalla. Tämä on kofeiinin vaikutuksen kannalta oleellista, koska kofeiini imeytyy vereen tehokkaimmin tyhjään vatsaan nautittuna (Schwenk & Costley 2002, 907) ja sen aiheuttama subjektiivinen vaikutus on myös osittain riippuvainen ravitsemustilanteesta. Myöskään koehenkilöiden päivittäisen ruokavalion kofeiinin käyttöä ei kontrolloitu tutkimusperiodin aikana. Tämä oli tutkimuksen suurimpia puutteita, koska kofeiinin käyttö aiheuttaa sen sietokyvyn parantumista ja vaikutusten vähenemistä. Parhaitenhan kofeiinin vaikutuksen saisi selville sellaisten koehenkilöiden avulla, jotka eivät käytä päivittäisessä ruokavaliossaan kofeiinituotteita. Tähän tutkimukseen ei kuitenkaan sellaisia henkilöitä olisi saatu mukaan.

Tämän tutkimuksen perusteella kofeiinista ei siis ole hyötyä yksittäistä voima- nopeusvoima- tai anaerobista kestävyyspyrähdyistä vaativiin suorituksiin. Urheilulajeista lä-

himpänä tällaista kuormitusta ovat yleisurheilun hyppy- ja heittolajit sekä lyhyet juoksumatkat. Palloilulajeissa niin ikään vaaditaan tämän tyyppisiä ominaisuuksia, mutta niissä pyrähdykset ja nopea, maksimaalinen voimantuotto tapahtuvat toistuvasti, jolloin myös kestävyysominaisuuksilla on merkitystä. Tämän tutkimuksen perusteella kofeiinin käytölle ei ole perusteita suorituskyvyn parantajana ennen edellä mainittujen urheilulajien suoritusta. Mutta mitään haittaakaan sen käytöstä ei ilmennyt. Kofeiinin virkistävän ja väsymyksen tunnetta vähentävän vaikutuksen ansiosta se kuitenkin säilynee urheilijoiden suosiossa jatkossakin.

## LÄHTEET

- Armstrong, L.E. 2002. Caffeine, body fluid-electrolyte balance, and exercise performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 12 (2), 189-206.
- Bell, D.G. & McLellan, T.M. 2002. Exercise endurance 1, 3, and 6 hours after caffeine ingestion. *Canadian Journal of Applied Physiology* 27 (Suppl), S4-S5.
- Chad K. & Quigley, B. 1989. The effect of substrate utilization, manipulated by caffeine, on post-exercise oxygen consumption in untrained female subjects. *European Journal of Applied Physiology* 59, 48-54.
- Chesley, A., Hultman, E. & Spriet, L.L. 1995. Effects of epinephrine infusion on muscle glycogenolysis during intense aerobic exercise. *American Journal of Physiology* (268) (Endocrinology Metabolism), E127-E134.
- Cole, K.J., Costill, D.L., Starling, R.D., Goodpaster, B.H., Trappe, S.W. & Fink, W.J. 1996. Effect of caffeine ingestion on perception of effort and subsequent work production. *International Journal of Sport Nutrition* 6, 14-23.
- Collomp, K., Ahmadi, S., Audran M., Chanal, J.-L., & Prefaut, C. 1991. Effects of caffeine ingestion on performance in trained and untrained swimmers. *International Journal of Sports Medicine* 12, 439-443.
- Costill, D.L., Dalsky, G.P. & Fink, W.J. 1978. Effects of caffeine on metabolism and exercise performance. *Medicine and Science in Sports* 10, 155-158.
- D'Amicis A., & Viani R. 1993. The consumption of coffee. *Teoksessa Garattini (toim.) Coffee, Caffeine and Health*. Raven Press. New York, 1-16.
- Dager S.R., Layton M.E., Strauss W., Richards T.L., Heide A., Friedman S.D., Artru, A.A., Hayes, C.E. & Posse, S. 1999. Human brain metabolic response to caffeine and the effects of tolerance. *American Journal of Psychiatry* 156 (2), 229-237.
- Dodd
- Doherty, M. 1998. The Effects of Caffeine on the Maximal Accumulated Oxygen Deficit and Short Term Running Performance. *International Journal of Sport Nutrition* 8, 95-104.

- Donnelly K. & McNaughton L. 1992. The effects of two levels of caffeine ingestion on excess postexercise oxygen consumption in untrained women. *European Journal of Applied Physiology* 459-463.
- Eddy N.B. & Downs A.W.J. 1928. Tolerance and cross-tolerance in human subject to diuretic effect of caffeine, theobromine and theophylline. *Pharmacol. Exp. Ther.* 33, 167-174.
- Graham, T.E. & Spriet, L.L. 1991. Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology* 71, 2292-2298.
- Jacobson, B.H., Weber, M.D., Claypool L. & Hunt L.E. 1992. Effect of caffeine on maximal strength and power in elite male athletes. *British Journal of Sport Medicine* 26 (4), 276-280.
- Kruk, B., Pekkarinen, H. & Hänninen, O. 1999. Effect of caffeine during repeated vertical jump. *Biology of Sport* 16 (4), 217-224.
- Lindinger, M.I., Willmets, R.G. & Hawke, T.J. 1996. Stimulation of Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-pump activity in skeletal muscle by methylxanthines: evidence and proposed mechanisms. *Acta Physiologica Scandinavica* 156, 347-353.
- Lindinger, M.L., Graham, T.E. & Spriet, L.L.. 1993. Caffeine attenuates the exercise-induced increase in plasma K<sup>+</sup> in humans. *Journal of Applied Physiology* 74, 1149-1155.
- Lopez, J.M., Aubier, J., Jardim, J.V. & Macklem, P.T. 1983. Effect of caffeine on skeletal muscle function before and after fatigue. *Journal of Applied Physiology* 54 (5), 1303-1305.
- McArdle W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 2002. *Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance*. 4. painos. Williams & Wilkins. Baltimore (MD),
- McIntosh, B.R. & Wright, B.M. 1995. Caffeine ingestion and performance of a 1500-metre swim. *Canadian Journal of Applied Physiology* 20, 168-177.
- McNaughton, L. 1987. Two levels of caffeine ingestion on blood lactate and free fatty acid responses during incremental exercise. *Research Quarterly of Exercise and Sport.* 58, 255-259.
- Nehlig, A., Daval, L.-L. & Debry G. 1992. Caffeine and the central nervous system: mechanisms of action, biochemical, metabolic, and psycho stimulant effects. *Brain Research Reviews* 17, 139-170.

- Nehlig, A. & Debry G. 1994. Caffeine and sports activity: a review. *International Journal of Sports Medicine* 15 (5), 215-223.
- Nienstedtin. 1999. Ihmisen fysiologia ja anatomia. 12. uud. painos. WSOY. Porvoo,
- Paton, C.D., Hopkins W.G. & Vollebregt L. 2001. Little effect of caffeine ingestion on repeated sprints in team-sport athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (5), 822-825
- Paulig.fi. 2006. Paulig konsernin verkkosivut: [www.paulig.fi](http://www.paulig.fi).
- Rall, T.W. 1980. Central nervous system stimulants. The xanthines. Teoksessa Gilman A., Gilman L. & Goodman L. (toim.) *The pharmacological Basis of Therapeutics*, 6. painos. MacMillan. New York, 592-607.
- Schwenk, T.L. & Costley C.D. 2002. When food becomes a drug: nonanabolic nutritional supplement use in athletes. *American Journal of Sport Medicine* 30 (6), 907-916.
- Spriet L.L. & Howlett R.A. 2000. Nutrition and exercise: caffeine. Teoksessa Maughan (toim.) *Nutrition in Sports*, 379-392.
- Van Handel, P. 1983. Caffeine. Teoksessa Williams, M.H. (toim.) *Ergogenic Aids in Sport. Human Kinetics*. Champaign. IL, 128-163.
- Van Soeren, M.H., Mohr, T., Kjaer, M. & Graham, T.E. 1996. Acute effects of caffeine ingestion at rest in humans with impaired epinephrine responses. *Journal of Applied Physiology* 80, 999-1005.
- Wiles, J.D., Bird, S.R., Hopkins, J. & Riley, M. 1992. Effect of caffeinated coffee on running speed, respiratory factors, blood lactate and perceived exertion during 1500-m treadmill running. *British Journal of Sports Medicine* 26, 116-120.
- Williams, J.H., Signoille, J.F., Barnes, W.S. & Henrich, T.W. 1988. Caffeine, maximal power output and fatigue. *British Journal of Sports Medicine* 229, 132-134.
- [www.kahvi.net](http://www.kahvi.net). – internet aineisto 2004. Elintarviketeollisuusliiton paahtimoyhdistyksen kotisivut.