

TARTU ÜLIKOOL
Spordibioloogia ja füsioteraapia instituut

Silva Suvi

**Kofeiini manustamine ei paranda aklimatiseerumata noorte
naiste vastupidavuslikku töövõimet kõrge temperatuuriga kuivas
keskkonnas**

Magistritöö

Kehalise kasvatuse ja spordi õppekava

Juhendaja: prof, biol knd V. Ööpik

Kaasjuhendaja: MSc S. Timpmann

Tartu 2013

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	5
1.1 Kofeiini leidumine toiduainetes.....	5
1.1.1 Kofeiin inimese toidulaual.....	5
1.1.2 Kofeiin ja tervis	6
1.2 Kofeiini kasutamine spordis	9
1.2.1 Kas kofeiin on dopinguaine või toidulisand?	9
1.2.2 Kofeiini kasutamine erinevate alade sportlaste poolt.....	9
1.3 Kofeiini mõju töövõimele.....	10
1.3.1 Kofeiin ja vastupidavuslik töövõime.....	10
1.3.2 Kofeiin ja töövõime kõrge intensiivsusega lühiajalistel pingutustel	11
1.3.3 Kofeiin ja jõud.....	12
1.3.4 Kofeiin ja kognitiivsed võimed	13
1.4 Kofeiini võimalikud toimetehhanismid töövõime mõjutamisel	13
1.4.1 Kofeiini toimimine adenosiinireseptorite kaudu	13
1.4.2 Kofeiini glükogeeni säästev efekt.....	14
1.5 Kofeiini kui töövõimet parandava toidulisandi efektiivsust mõjutavad faktorid	15
1.5.1 Doos.....	15
1.5.2 Manustamisviis.....	15
1.5.3 Manustamise ajastus	16
1.5.4 Treenituse tase	17
1.5.5 Töösse kaasatud lihased	17
1.5.6 Harjumuspärane kofeiini tarbimine.....	18
1.6 Kofeiini mõju vastupidavuslikule töövõimele kõrge temperatuuriga keskkonnas.....	18
1.7 Kokkuvõte kirjanduse ülevaatest.....	21
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	23
3. METOODIKA	24
3.1 Vaatlusalused.....	24
3.2 Uuringu üldine korraldus.....	24
3.3 VO ₂ max määramine	25
3.4 Vastupidavusliku töövõime hindamine	25
3.5 Organismi veestaatuse hindamine	26
3.6 Keha süvatemperatuuri mõõtmine.....	27

3.7 Nahatemperatuuri mõõtmine	27
3.8 Südame löögisageduse registreerimine	27
3.9 Kapillaarvere analüüsid	27
3.10 Vaatlusaluste poolt tajutud pingutuse, väsimuse ja temperatuuri hindamine.....	28
3.11 Andmete statistiline töötlus	28
4. TÖÖ TULEMUSED	29
4.1 Töövõime.....	29
4.2 Südame löögisagedus	29
4.3 Laktaadi kontsentratsioon kapillaarveres	30
4.4 Rektaaltemperatuur.....	30
4.5 Naha keskmine temperatuur	31
4.6 Kehamass ja veestaatus	32
4.7 Vaatlusaluste poolt tajutud pingutus, väsimus ja keskkonna temperatuur	32
5. TULEMUSTE ARUTELU.....	35
6. JÄRELDUSED	40
KASUTATUD KIRJANDUS	41
SUMMARY	46

SISSEJUHATUS

Tänu soodsale hinnale ja heale kättesaadavusele on kofeiini sisaldavate jookide ja toiduainete tarbijaskond üle maailma väga lai. Isegi lastele mõeldud tooted ja mõned retseptivabad ravimid sisaldavad kofeiini. Peamine kofeiini tarbimise eesmärk on väsimuse ületamine, erksuse säilitamine ning õppimis- ja töövõime parandamine. Need ja paljud teised omadused on muutnud kofeiini atraktiivseks ka sportlaste ja sõjaväelaste seas. Kofeiini mõju kehalisele töövõimele on uuritud väga palju ning üsna kindlalt võib öelda, et kofeiin parandab vastupidavuslikku sooritust. Lühemaajaliste intensiivsete ja jõudu nõudvate pingutuste korral on tulemused vastuolulisemad.

Teaduslikku huvi on kofeiin pälvinud palju, kuid ikkagi on mõni valdkond jäänud suurema tähelepanuta. Näiteks väga vähe on uuritud kofeiini mõju kehalisele töövõimele ekstreemsetes keskkonnatingimustes. Antud asjaolu oli ka peamiseks põhjuseks, miks otsustasin uurida kofeiini mõju vastupidavuslikule töövõimele kõrge temperatuuriga kuivas keskkonnas. Saadud tulemustel on suur praktiline väärtus, kuna nii mitmetelgi spordivõistlustel ja sõjalistel operatsioonidel on kõrge temperatuur üheks olulisemaks kliimafaktoriks.

Kofeiini mõju vastupidavuslikule töövõimele kõrge temperatuuriga keskkonnas on uuritud põhiliselt veloergomeetria testidega. Ainult ühes asjakohases uuringus kasutati jooksutesti, aga seda välitingimustes. Liikuval jooksurajal taolisi uuringuid ei ole läbi viidud, mistõttu on antud uuring informatiivne ja uudne. Olles ise aktiivne jooksuharrastaja, siis huvi liikuval jooksurajal teste läbi viia oli märgatavalt suurem kui veloergomeetria. Enamikes spordivaldkonna uuringutes koosneb valim põhiliselt meestest, mistõttu on naised märgatavalt vähem tähelepanu pälvinud. Seda puudujääki teaduslikes uuringutes tuleks hakata jõudsalt likvideerima ning käesolev uuring on minupoolne väikene samm selles suunas.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Kofeiini leidumine toiduainetes

1.1.1 Kofeiin inimese toidulaual

Kofeiin (1,3,7-trimetüülksantiin) on puriini alkaloid, mille näol on tegemist lämmastikku sisaldava taimse ühendiga (Higdon ja Frei, 2006). Looduslikult leidub kofeiini kohviubades, teelehtedes, kakaoubades ja koolapähklites (Sökmen jt, 2008). Kofeiin lagundatakse maksaensüümide abil teofülliiniks (4%), teobromiiniks (12%) ja paraksantiiniks (84%) (George, 2003), mis aitavad kofeiini toimet paremini esile tulla. Teofülliin ja teobromiin on samuti ksantiini alkaloidid, mille struktuur ja füsioloogiline toime on sarnane kofeiinile.

Kofeiin on psühhoaktiivne aine, mis tänu oma heale kättesaadavusele, lihtsale manustamisviisile ja kiirele toimele on laialdaselt levinud (Doherty ja Smith, 2004). Ligikaudu 90% kogu maailma täiskasvanutest tarbib kofeiini igapäevaselt (Burke, 2008). Kõige enam tarbivad inimesed kohvi ja teed, mille kofeiinisaldus sõltub suuresti tooraine töötlemise viisist. Näiteks tumeröstitud kohvis on vähem kofeiini kui kergelt röstitud, sest pikemaajalisem töötlemine vähendab kofeiini kontsentratsiooni kohvioas (McCusker jt, 2003). Lisaks röstimisele mõjutab kofeiini sisaldust kohviubade sort, jahvatuse aste, vee ja kohvi vahekord ja tõmbamisaja pikkus (McCusker jt, 2003). Musta-, roheline- ja valge tee kofeiinisaldus varieerub 14–61 mg vahel ühe tassi (~170 ml) kohta sõltuvalt tõmbamise ajast. Näiteks Liptoni must tee sisaldab 1 minuti tõmbamise järgselt 17 mg, 3 minuti möödudes 38 mg ja pärast 5 minutit 47 mg kofeiini (Chin jt, 2008). Tabelis 1 on toodud enam levinud jookide ja toiduainete kofeiini sisaldus.

Kofeiini sisaldavad ka mitmed energiajoogid, maiustused, toidulisandid ja ravimid (Burke, 2008). Järjest rohkem tuleb turule kofeiini sisaldavaid tooteid, mille sihtgrupiks on alaealised (Bramstedt, 2007). Kurgupastillid, nätsud, kommid, energiajoogid – kõik need tooted on lastele vabalt kättesaadavad. Rääkimata apteekides müüdavatest kofeiinitablettidest. Jõudsalt on kasvanud kofeiini sihipärane tarbimine noorukite seas eesmärgiga parandada oma kehalist ja vaimset töövõimet (Temple, 2009). Kofeiin osutub heaks valikuks just tänu oma kättesaadavusele ja soodsale hinnale. Laste kofeiini tarbimine tekitab vastakaid arvamusi, kuid enamasti ei peeta kofeiini lastele tarvilikuks (Bramstedt, 2007; Burke, 2008; Temple, 2009).

Tabel 1. Kofeiini sisaldus erinevates jookides ja toiduainetes

Jook/toiduaine	Kogus	Kofeiin (mg)
Must tee	170 ml	14–61 *
Roheline tee	170 ml	16–41 *
Valge tee	170 ml	23–47 *
Lahustuv kohv	250 ml	60 (12–169) *
Kannukohv	250 ml	80 (40–110) *
Espresso	80 ml	107 (25–214) *
Coca-Cola	375 ml	49
Pepsi cola	375 ml	40
Red Bull	250 ml	80
Piimašokolaad	60 g	5–15
Tume šokolaad	60 g	10–50

Allikas: Burke, 2008; Chin jt, 2008. * Kofeiini kogus varieerub sõltuvalt brändist, valmistamisviisist ja tassi suurusest.

1.1.2 Kofeiin ja tervis

Kofeiini valuvaigistav toime on kinnitust leidnud nii mõneski uuringus (Fredholm jt, 1999; Goldstein, 2001). Kofeiin imendub kiiresti vereringesse ning on võimeline läbima hematoentsefaalset barjääri, mistõttu mõjutused kesknärvisüsteemi tasandil avalduvad kiiresti (George, 2003). Analgeetiline toime ja imendumiskiirus on peamised põhjused, miks kofeiini lisatakse valuvaigistavatele ravimitele (Goldstein, 2001). Abiainena lisatakse kofeiini näiteks aspiriinile ja paratsetamoolile, mis leevendavad põletikku ja valu. Tihti manustatakse nendel toimeainetel põhinevaid ravimeid migreeni ja pingepeavalude korral (Goldstein, 2001). Lisaks valuvaigistitele on kofeiini (30–100 mg) lisatud ka külmetusravimitele, kaalulangetus- toodetele, diureetikumidele ja ärkvelolekut stimuleerivatele toodetele (Graham, 2001).

Üha kasvav kofeiinitarbimine on tinginud vajaduse uurida kofeiini mõju inimese tervisele ning leida võimalikke seoseid haiguste ja tarbimisharjumuste vahel. Kofeiin soodustab vedeliku väljutamist organismist (George, 2003). On leitud, et kofeiini akuutne manustamine suurendab diureesi ja võib põhjustada organismi dehüdratsiooni (Burke, 2008). Puhkeseisundis uriini maht küll suureneb, aga märkimisväärset vedelikutasakaalu muutust kehalise soorituse ajal ei täheldata (Goldstein jt, 2010).

Kofeiini pikemaajalise tarbimise mõju inimese tervisele on uuritud põhiliselt kohvijoojate näitel, kuna kohv on põhiline igapäevane kofeiiniallikas. Higdon ja Frei (2006) leidsid, et kohvi joomine võib oluliselt vähendada krooniliste haiguste esinemissagedust. Insuliinistõltumatu suhkruhaigus ehk 2. tüüpi diabeet on ühiskonnas süvenev probleem ja sellepärast tuleks tähelepanu pöörata kõikidele võimalikele ennetusvahenditele, kaasa arvatud kofeiinile. Van Dam ja Hu (2005) tõdesid, et igapäevastel kohvitarbijatel on väiksem risk haigestuda 2. tüüpi diabeeti. Suuremahulises uuringus osales kokku 193 473 meest ja naist. Vaatlusalustel, kes tarbisid üle 6 tassi kohvi päevas, oli 35% väiksem tõenäosus haigestuda ning 4–6 tassi joojatel oli risk 28% väiksem võrreldes 2 ja vähem tassi joojate kaaslastega. Enamus asjakohaseid uuringuid kinnitavad, et rohkem kohvi joojatel inimestel on väiksem tõenäosus haigestuda 2. tüüpi diabeeti (Higdon ja Frei, 2006).

Suurtes kogustes kohvi joomine tõstab vererõhku (Fredholm jt, 1999). Kõrge vererõhk on riskifaktor mitmetele südamehaigustele nagu näiteks südamelihase infarkt ja südame rütmihäired (Higdon ja Frei, 2006). Samas puudub selge seos pikemaajalise kohvitarbimise ja hüpertensiooni kujunemise vahel, eriti inimestel, kellel on normaalne vererõhk ja puudub geneetiline eelsoodumus hüpertensiooniks (Higdon ja Frei, 2006). Kõrge vererõhu ja geneetilise eelsoodumusega inividid peaksid kohvi joomisega tagasihoidlikumad olema.

Kuna kofeiin soodustab kaltsiumi ja teiste mineraalainete organismist väljutamist, arvatakse, et kohvijoomine võib soodustada luude hõrenemist (Temple, 2009). Suured kogused (>300 mg/päevas) kofeiini mõjutavad kaltsiumitasakaalu negatiivselt ja soodustavad luutiheduse vähenemist, samas piisavalt kaltsiumi- ja D vitamiinirikka toidu tarbimisel mõõdukas kohvi joomine luutihedust ei vähenda (Higdon ja Frei, 2006).

Kofeiini positiivne efekt Parkinsoni tõve ennetamisel on kinnitust leidnud mitmetes uuringutes (Higdon ja Frei, 2006; Ross jt, 2000). Ross jt (2000) poolt läbi viidud uuring näitas, et meestel, kes igapäevaselt kohvi ei tarbinud oli 5 korda suurem tõenäosus haigestuda Parkinsoni tõppe kui neil, kes jõid kohvi regulaarselt. Meeste uuringud näitavad üsna selgelt, et kofeiini tarbimine vähendab tõenäosust haigestuda Parkinsoni tõppe, samas nii kindlaid tõendeid naiste kohta ei leidu. Arvatakse, et naistel mõjutab hormonaalne kõikumine oluliselt kofeiini toimet. Näiteks hormoonasendusravi saavatel postmenopausaalsetel naistel ei vähenda kofeiin riski haigestuda Parkinsoni tõppe, samas ravi mitte saavatel naistel väheneb risk sarnaselt kofeiini tarbivate meestega (Higdon ja Frei, 2006). Erinevuse taga on nähtavasti metaboolne konkurents, sest nii kofeiini kui ka östrogeeni lammutatakse maksas sama ensüümi poolt (Higdon ja Frei, 2006).

Varasemad uuringud kaldusid näitama positiivset seost kofeiini tarbimise ja kõhunäärme-, põie- ja munasarjavähi vahel, aga hilisemad ja parema ülesehitusega uuringud seda hüpoteesi

enamasti ei toeta (Higdon ja Frei, 2006). Pigem esineb tendents, et regulaarne kohvi tarbimine vähiriski ei suurenda. Tverdal ja Skurtveit (2003) hindasid kohvi joomise ja maksatsirroosi seoseid 17 aastat väldanud uurimuse põhjal, millest võttis osa 51 306 keskealist norralast. Uuringu andmetest selgus, et vähemalt 2 tassi päevas kohvi joovatel meestel ja naistel oli 40% väiksem tõenäosus surra maksatsirroosi.

Kofeiin tungib hõlpsalt läbi platsenta (Fredholm jt, 1999) ning võib mõjutada loodet. Rasedus aeglustab oluliselt ka kofeiini ainevahetust (Bramstedt, 2007). Pärast ühekordset manustamist võib raseduse viimasel trimestril kofeiini kõrgeenenud tase veres pikeneda kuni 15 tunnini (Fredholm jt, 1999). Kofeiini mõju on hinnatud rasestumisele, raseduse iseeneslikule katkemisele, loote arengule, enneaegsele sünnitusele, väärarengutele ja imetamisele (Higdon ja Frei, 2006; Bech jt, 2005). Bech jt (2005) leidsid, et rasedatel, kes tarbisid keskmiselt 4 või enam tassi kohvi päevas, esines oluliselt suurem loote surnult sündimise risk kui kohvi vähem tarbivatel naistel. Kofeiini ja rasestumise seosed on vastuolulised. Mõned uuringud ei näe kofeiinil mingisugust negatiivset mõju rasestumisele, teised jälle leiavad, et kofeiin tekitab probleeme rasestumisel ja eriti veel suurte koguste tarbimisel (400–800 mg/päevas) (Higdon ja Frei, 2006). Ühesed vastused puuduvad, aga soovitatav on kofeiini tarbimist enne ja raseduse ajal piirata (<300 mg/päevas) (Higdon ja Frei, 2006).

Kofeiini mõju laste psühholoogilistele, füsioloogilistele ja käitumuslikele muustritele on teadlaste poolt märkimisväärselt vähem tähelepanu pälvinud kui täiskasvanute uuringud (Temple, 2009). Lapsed ei ole erilised kohvijoojad ning nende kofeiiniannus tuleneb erinevatest šokolaadimaiustustest ja energiajookidest (Fredholm jt, 1999). Liigne magusate energiajookide tarbimine võib sageli põhjustada probleeme toitumises. Lapsed, kes joovad nädalas rohkem magusaid gaseeritud jooke, tarbivad selle võrra vähem piima, puu- ja juurvilju (Temple, 2009). Üldiselt on täheldatud, et kofeiini tarbimine alla 3 mg/kg ei põhjusta lastel negatiivseid kõrvaltoimeid, samas suuremad kogused võivad esile kutsuda käitumishäireid ning sellest tulenevalt soovitatakse kofeiinitarbimist piirata 2,5 mg kehakaalu kilogrammi kohta (Higdon ja Frei, 2006).

Suured annused kofeiini võivad põhjustada mürgistust, mille sümptomid on rahutus, närvilisus, unetus, iiveldus, oksendamine, krambid ja südame rütmihäired (Bramstedt, 2007). Juba 1 gramm kofeiini võib põhjustada hallutsinatsioone ja deliiriumi ning üle 5 grammi võib osutada surmavaks (Higdon ja Frei, 2006). Kofeiin võib põhjustada ärevushäireid ja kroonilist unetust (Bramstedt, 2007). Ravimiseks tuleb vähendada igapäevast kofeiinitarbimist, millega kaasnevad sageli ebameeldivad võõrutusnähud.

1.2 Kofeiini kasutamine spordis

1.2.1 Kas kofeiin on dopinguaine või toidulisand?

Rahvusvaheline Olümpiakomitee käivitas 1984. aasta suveolümpiamängudel Los Angeleses anti-dopingu programmi, mille eesmärgiks oli takistada keelatud ainete tarvitamist spordis. Vastavalt kehtestatud reeglitele loeti kofeiin dopinguaineks, kui selle ühendi kontsentratsioon sportlase uriinis ületas 15 µg/ml. Järgmisel aastal langetati kofeiini kontsentratsiooni lubatav piirmäär uriinis 12 µg/ml peale (Burke, 2008). Käesoleva sajandi alguses tekkisid kahtlused uriiniproovi usaldusväärsuses tuvastamaks kofeiini kuritarvitamist sportlaste poolt. Toodi välja rida faktoreid, mis mõjutavad kofeiini taset uriinis ja raskendavad kofeiini dopinguainaena kasutamise objektiivset tuvastamist. Näiteks kallutavad uriinitesti tulemust lisaks doosi suurusele suured individuaalsed erinevused kofeiini metaboliseerumise kiiruses, samuti uriiniproovi võtmise ja kofeiini manustamise vahele jääv aeg (Burke, 2008).

Kofeiin eemaldati *World Anti-Doping Agency* (WADA) keelatud ainete nimekirjast 2004. aastal. Seda otsust põhjendati suuresti asjaoluga, et kofeiini sisaldavad toiduained on ühiskonnas laialdaselt kättesaadavad ja üldkasutatavad (Astorino ja Roberson, 2010). Pärast dopinguainetes loetelust väljaarvamist lülitati kofeiin WADA seireprogrammi. Selle programmi raames jälgitakse rea dopinguainetes nimekirja mittekuuluvate ainete kasutamist sportlaste poolt eesmärgiga vajaduse korral hakata tõkestama nende väärkasutamist. Aastatel 2010 ja 2011 täheldati märkimisväärset kofeiini tarbimise suurenemist (WADA, 2011).

1.2.2 Kofeiini kasutamine erinevate alade sportlaste poolt

Kuigi kofeiinil puudub toiteväärtus, on ta pälvinud nii võistlussportlaste kui ka harrastajate tähelepanu kui legaalne ergogeenne aine (Sökmen jt, 2008). Kofeiini tarbitakse nii igapäevase menüü osana kui ka toidulisandina otseselt töövõime parandamise eesmärgil. Järjest suurenevad nõudmised sportlastele ajendavad toidulisandeid tarbima ja kofeiinis nähakse ühte võimalust lisaefekti saavutamiseks. Teaduslike uuringute andmed näitavad, et kofeiin parandab kõige tõhusamalt vastupidavuslikku töövõimet (Burke, 2008; Doherty ja Smith, 2004; Goldstein jt, 2010). Del Coso jt (2011) annavad oma uuringus väga hea ülevaate kofeiini levikust erinevate spordialade esindajate seas. Selgelt tuleb välja, et suurima tarbijaskonna moodustavad vastupidavusaladega tegelejad. Esikolmikusse kuuluvad kõrget aeroobset töövõimet nõudvad spordialad nagu triatlon, jalgrattasport ja sõudmine. Vahelduva intensiivsusega spordialadel nagu näiteks võimlemine ja tennis, jääb tarbimine oluliselt

väiksemaks. Del Coso jt (2011) uurisid ka vanuse ja kofeiinitarbimise omavahelisi seoseid. Osalejad jaotati kümne aastaste intervallidega vanuserühmadesse. Leiti, et vanemate sportlaste rühmades olid manustatavad kogused oluliselt suuremad kui noorte hulgas (kuni 20 aastastel). Del Coso jt (2011) mahuka uuringu raames jälgiti kofeiini tarbimist erinevate spordialade esindajate seas pärast WADA keelatud ainete nimekirjast eemaldamist. Vaatluse all olnud 20 686 uriiniproovi pärinesid aastatest 2004–2008. Kofeiini alampiiriks kehtestati 0,1 µg/ml, millest allapoole jäävaid proove oli 26,2%. Ülejäänud 73,8% uriiniproovis oli kofeiinisaldus alampiirist kõrgem. Uuringust selgus, et kõigest 0,6% uriiniproovidest ületas WADA poolt varem kehtinud kofeiini piirmäära (12 µg/ml). Järelikult kofeiini eemaldamine dopinguainetes nimekirjast ei ole kaasa toonud olulist liigtarbimist ühelgi spordialal.

1.3 Kofeiini mõju töövõimele

1.3.1 Kofeiin ja vastupidavuslik töövõime

Kofeiini mõju vastupidavuslikule töövõimele on hinnatud väga paljudes uuringutes ning enamuses neist on tuvastatud sooritust parandav toime (Burke, 2008; Doherty ja Smith, 2004; Goldstein jt, 2010). Nendes uuringutes on kasutatud põhiliselt kaht erinevat moodust vastupidavuse hindamiseks. Ühes neist peab vaatlusalune konstantse intensiivsusega töötama suutlikkuseni. Teine lähenemisviis nõuab uuritavalt võimalikult lühikese ajaga kindla distantsi läbimist või eesmärgiks seatud töö hulga sooritamist. Viimati kirjeldatud meetod leiab järjest sagedasemat kasutamist, kuna see on oma olemuselt reaalsele võistlusolukorrale sarnasem kui kindla intensiivsusega suutlikkuseni sooritatav töö (Doherty ja Smith, 2004).

Kofeiini akuutne tööeelne manustamine pikendab töö kestust kurnatuseni nii liikurajal jooksmisel (Graham jt, 1998; Graham ja Spriet, 1991) kui ka veloergomeetril töötamisel (Graham ja Spriet, 1991; Hogervorst jt, 2008; Pasma jt, 1995). Mõlemad lähenemisviisid on spordiuringutes laialt kasutatavad ja usaldusväärsed. Näiteks manustatud kofeiin pikendas vastupidavuslikku töövõimet noortel, kes jooksid liikurajal suutlikkuseni, 7,5–10 minutit (Graham jt, 1998). Veloergomeetril suutlikkuseni testis tekkis väsimus kofeiini manustamise järgselt oluliselt hiljem kui platseebo ja tavalise süsivesikuterikka energiabatooni tarbimisel (Hogervorst jt, 2008). Töövõime võrreldes platseeboga paranes lausa 84%. Nii liikurajal kui ka veloergomeetril saadud andmetest kajastub, et kofeiini manustamine koguses 3–7 mg/kg kehakaalu kohta pikendab vastupidavusliku töö kestust suutlikkuseni ~24% (Goldstein jt, 2010).

Kofeiin lühendab aega, mis kulub jooksulindil (Wiles jt, 1992) ja veloergomeetril (Astorino jt, 2012ab) kindla vahemaa läbimiseks. Simuleeritud 1500m jooksu ajad liikurajal paranesid kofeiiniuuringus keskmiselt 4,2 s võrreldes platseebouuringuga (Wiles jt, 1992). Astorino jt (2012a) kasutasid 10 km testi veloergomeetril hindamaks kofeiini mõju vastupidavuslikule töövõimele kahel järjestikusel testipäeval. Kofeiiniga läbiti vahemaa esimesel päeval 1,6% ja teisel päeval 1,9% kiiremini kui platseeboga. Samuti aitab kofeiini tarbimine teha rohkem tööd fikseeritud aja jooksul (Cureton jt, 2007). Antud uuring viidi läbi temperatuuril 28,5°C, mis on oluline lisafaktor ning seetõttu käsitletakse seda töö käigus hiljem.

1.3.2 Kofeiin ja töövõime kõrge intensiivsusega lühiajalistel pingutustel

Kofeiini mõju töövõimele kõrge intensiivsusega lühiajalistel pingutustel on uuritud vähe ja saadud tulemused on vastuolulised (Astorino ja Roberson, 2010; Burke, 2008; Doherty ja Smith, 2004). Lühiajaline ja intensiivne töö on raskemini mõõdetav ja soorituse paranemine on sageli väga väike, mis on ilmselt üheks oluliseks põhjuseks, mis tingib vasturääkivusi uuringute andmetes (Graham, 2001). Kofeiini mõju töövõimele kõrge intensiivsusega lühiajalistel pingutustel avaldub enamasti ainult treenitud inimestel (Collomp jt, 1992). Arvatavasti põhjustavad järjepidevad treeningud organismis selliseid füsioloogilisi muutuseid, mis hõlbustavad kofeiini ergogeense efekti avaldumist (Goldstein jt, 2010).

Kõrge intensiivsusega lühiajalisi pingutusi käsitlevatest uuringutest 65% demonstreerisid olulist töövõime paranemist kofeiini manustamise järgselt (Astorino ja Roberson, 2010). Tulemused nendes uuringutes paranesid keskmiselt $6,5 \pm 5,5\%$. Kõrge intensiivsusega lühiajalisi pingutusi on uuritud enamasti kas ühekordse sprinterliku sooritusena (Wiles jt, 1992; Woolf jt, 2009; Collomp jt, 1992) või lühikeste korduvate seeriatena (Greer jt, 1998; Woolf jt, 2008). Näiteks parandas kofeiin 1 minuti lõpuspurdi kiirust liikurajal joostes 0,6 km/h, mis teeb ligikaudu 10 m (Wiles jt, 1992). Collomp jt (1992) leidsid, et kofeiin parandas oluliselt treenitud ujujatel 100 m vabaltujumise aega. Woolf jt (2009) soovisid ei täheldanud kofeiini positiivset mõju jalgpallurite sprinterlikele võimetele süstik- ja joonejooksus, kuigi 59% osalejatest suutsid näidata kofeiiniga kiiremat aega kui platseeboga.

Kordustena sooritatud intensiivseid lühiajalisi pingutusi hinnatakse sageli Wingate'i testi abil. Enamus uuringuid, kus on kasutanud kofeiini mõju hindamiseks Wingate'i testi, on täheldanud väga minimaalset ergogeenset efekti (Davis ja Green, 2009; Greer jt, 1998). Greer jt (1998) kasutasid 4 x 30 s Wingate testi hindamaks kofeiini mõju kõrge intensiivsusega

pingutusele. Uurijad leidsid, et kofeiin ei avaldanud mõju töövõimele esimese kolme spurdi jooksul, samas 4. spurdis kofeiiniga võimsus hoopis langes võrreldes platseeboga. Seevastu Woolf jt (2008) järeldasid oma katsetulemuste põhjal, et kofeiini manustamine suurendab maksimaalset võimsust.

1.3.3 Kofeiin ja jõud

Asjakohaseid uuringuid kofeiini mõjust maksimaalsetele jõunäitajatele on vähe ning olemasolevad kirjanduse andmed on vastuolulised (Astorino ja Roberson, 2010; Burke, 2008; Davis ja Green, 2009; Goldstein jt, 2010). Mitmetimõistmise on tinginud erinevused uuringute ülesehituses, vaatlusaluste treenituses ja manustatud doosis (Del Coso jt, 2012). Põhilised lihasjõu hindamise meetodid on ühe korduse maksimum (1KM) ja kordused suutlikkuseni (Davis ja Green, 2009). Viimase puhul määratakse raskus tavaliselt 1KM põhjal. Astorino ja Roberson (2010) tõid välja kofeiinist tingitud töövõime paranemise 54% juhtudest, sõltumata jõuvõime määramise meetodist. Keskmiselt paranes töövõime uuringutes $9,4 \pm 5,7\%$.

Uuringutes, milles hinnati kofeiini mõju jõunäitajatele kasutades selleks kordusmeetodit suutlikkuseni, olid tulemused vasturääkivad (Woolf jt, 2008; 2009). Treenitud meessportlased parandasid kofeiini manustamise järgselt sooritust rinnalt surumises, kuid mitte oluliselt jalapressis (Woolf jt, 2008). Aasta hiljem tehtud uuring jalgpalluritega (Woolf jt, 2009) näitas, et kofeiin ei aita rinnalt surumises jõunäitajaid parandada. Vaatlusalustest 59% suutis kofeiini manustamise järgselt näidata paremat tulemust kui platseeboga, kuid kokkuvõttes ei osutunud erinevus statistiliselt oluliseks. Samas toob enamus uuringutest välja kofeiini positiivse mõju jalalihastele mitte ülakehalihastele (Davis ja Green, 2009; Warren jt, 2010).

Kirjanduses leiduvale infole tuginedes on kofeiinil väga väikene mõju 1KM-le (Davis ja Green, 2009). Del Coso jt (2012) hindasid kofeiini mõju nii üla- kui alakeha lihasjõu näitajatele kasutades selleks 1KM. Energiajook platseebo või kofeiiniga (1 mg/kg) ei avaldanud positiivset toimet jõuvõimetele selili lamades surumises ega ka poolkükis. Samas suurem doos (3 mg/kg) kofeiini parandas sooritust poolkükis $7 \pm 4\%$ ja selili lamades surumises $7 \pm 2\%$ võrreldes platseeboga.

1.3.4 Kofeiin ja kognitiivsed võimed

Kofeiini tarbimine on laialt levinud suuresti seoses asjaoluga, et tal on väsimust vähendav ja ärkvelolekut stimuleeriv toime (Fredholm jt, 1999; Sökmen jt, 2008). Nendest omadustest lähtuvalt manustavad kofeiini paljud vahetustega tööl käivad inimesed, pikki sõite tegevad veoautojuhid, sõjaväelased, sportlased ja paljud teised, kelle töö iseloom eeldab pikaajalist erksuse säilitamist (Burke, 2008). Mitmed uuringud on tõestanud, et akuutne kofeiini tarbimine parandab vaimset töövõimet, üldist meeleolu ning varjab väsimusilminguid (Sökmen jt, 2008).

Sõdurid on ehk kõige tüüpilisem näide inimestest, kes sageli peavad unepuuduses säilitama kõrge tähelepanuvõime, tegevusvalmiduse astme ja töövõime. Enamus uuringutes, mille tähelepanu oli pööratud kofeiini mõjule kaitseväelaste kognitiivsetele võimetele, täheldati tulemuste paranemist (Goldstein jt, 2010; McLellan jt, 2005; 2007). McLellan jt (2005; 2007) uurisid kofeiini mõju sõjaväe eriüksuslaste peal, kes sooritasid unepuuduses mitme päeva jooksul ridamisi testülesandeid. Päeva peale jaotatuna manustati neile 600–800 mg kofeiini või platseebot. Kaitseväelaste valvsust hinnati psühhomotoorsete testidega mitu korda ööpäeva jooksul. Kofeiin aitas unepuuduses säilitada valvsust, samal ajal kui platseeboga langes valvsus oluliselt.

Hogervorst jt (2008) tõid oma uurimuses välja kofeiini positiivse mõju nii vastupidavuslikule kui ka kognitiivsele töövõimele. Treenitud jalgratturid näitasid kofeiini manustamise foonil oluliselt paremat keskendumisvõimet ja objektide äratundmist, kiiremat vastamisaega ning nägemisinformatsiooni kiiremat töötlemist nii keskmise intensiivsusega pedaalimise kui ka suutlikkuseni testi puhul. Tulemused kofeiini mõjust kognitiivsetele võimetele lühemaajaliste intensiivsete pingutuste raames on vastuolulisemad (Goldstein jt, 2010).

1.4 Kofeiini võimalikud toimetehhanismid töövõime mõjutamisel

1.4.1 Kofeiini toimimine adensiiniretseptorite kaudu

Kofeiini võimalikke toimetehhanisme kehalisele töövõimele on erinevates allikates välja toodud palju, kuid kõige asjakohasemaks peetakse adensiini retseptorite antagonismi (Graham, 2001; Fredholm jt, 1999). Adensiin koosneb adeniinist ja ribosist ning on oluline adensiinrifosfaadi (ATP), adensiindifosfaadi (ADP) ja adensiinmonofosfaadi (AMP) koostisosa. Adensiini molekul on oma struktuuril sarnane kofeiiniga. Tänu sellele suudab

kofeiini molekul kinnituda raku membraanil olevatele adenosini retseptoritele, blokeerides võimaluse adenosini molekulil aktiveeruda (Fredholm jt, 1999). Adosin on neurotransmitter, mis põhjustab väsimustunnet, suurendab valutundlikkust ja erutuvust (Davis ja Green, 2009).

Adosini retseptoreid leidub ajus, südames, rasvarakkudes, sile- ja skeletilihastes (Graham, 2001). Kuna kofeiinil on võime ületada hematoentsefaalset barjääri sama hästi kui läbida rakumembraani, siis on üsna keeruline määrata, millisele süsteemile avaldab kofeiin suurimat mõju (Goldstein jt, 2010). Adosini retseptoreid liigitatakse neljaks: A_1 , A_{2A} , A_{2B} ja A_3 (George, 2003). Põhilised märklauad kofeiinile on A_1 ja A_{2A} retseptorid, mis seovad kofeiini juba väikestes kogustes. Samas kui A_{2B} retseptorid reageerivad ainult suurtele doosidele ja A_3 retseptorid on üldse kofeiini suhtes tundetud (Fredholm jt, 1999). Adosini ja kofeiini omavaheline konkureerimine põhjustab organismis mitmesuguseid füsioloogilisi muutuseid. Kuna adosin inhibeerib teiste neurotransmitterite vabanemist, siis kofeiini manustamine põhjustab just nende kõrgeenenud kontsentratsiooni veres. Kofeiin mõjutab selliseid neurotransmittereid nagu noradrenaliin, dopamiin, serotoniin, atsetüülkoliin, glutamaat ja gamma-aminovõihape (Fredholm jt, 1999). Näiteks suureneb kofeiini toimel dopamiini ja noradrenaliini hulk organismis, millega kaasneb kõrgeenenud erutus seisund. Mida kauem inimene ärkvel on, seda enam suureneb adosini kontsentratsioon ajus, mis põhjustab veelgi suuremat väsimustunnet (Fredholm jt, 1999). Kofeiinil on teatavasti vastupidine ehk ärkvelolekut stimuleeriv ja väsimust peletav toime, mis muudabki ta inimestele ja eriti veel sportlastele atraktiivseks.

1.4.2 Kofeiini glükogeeni säästev efekt

Lisaks oma toimele kesknärvisüsteemi tasandil, suudab kofeiin mõju avaldada ka erinevate substraatide kasutamisele kehalise tegevuse vältel. Kofeiin intensiivistab vabade rasvhapete mobilisatsiooni, mis on oluliseks energiaallikaks pikaajalises aeroobses tööl ja tänu millele väheneb glükogeeni kasutamine (Goldstein jt, 2010). Glükogeeni säästlikum kasutamine töötavates lihastes peaks väsimuse teket edasi lükkama, mistõttu pikeneb aeg väsimuse tekkeni. Kõrge intensiivsusega lühiajaliste pingutuste puhul toimivad põhiliselt anaeroobsed protsessid, mistõttu kofeiini toimemehhanismi põhjendamiseks tuleb kasutada teisi lähenemisi (Astorino ja Roberson, 2010).

Glükogeeni säästev teooria on leidnud kinnitust pigem vanemates uuringutes, kuid kaasaegsed teadustööd pole sellele toetavaid fakte lisanud (George, 2003). Kirjandusele

tuginedes võib oletada, et lipolüüs ja glükogeeni säästmine aitavad kaasa vastupidavuslikule töövõimele. Kofeiini glükogeeni säästev positiivne efekt jõu- ja kiirusaladel on vastuolulisem (Graham, 2001).

1.5 Kofeiini kui töövõimet parandava toidulisandi efektiivsust mõjutavad faktorid

1.5.1 Doos

Graham ja Spriet (1995) uurisid erinevate kofeiinidooside (3, 6 ja 9 mg/kg) mõju vastupidavuslikule töövõimele ning tulid järeldusele, et kõrgema annusega (9 mg/kg) ei kaasne olulist sooritusvõime paranemist võrreldes mõõdukate kogustega. Del Coso jt (2012) kasutasid oma uuringus väiksemaid doose (1 ja 3 mg/kg) ning leidsid, et töövõimele avaldas positiivset mõju ainult 3 mg/kg kofeiini manustamine. Erinevaid uuringuid kõrvutades ilmneb, et kofeiini ergogeenset mõju avaldavad optimaalsed kogused jäävad 3–6 mg/kg vahele (Doherty ja Smith, 2004; Graham, 2001).

Individaalsed iseärasused mõjutavad oluliselt kofeiini toimet. Graham ja Spriet (1995) jaotasid inimesed kofeiini toimele vastajateks ja mittevastajateks lähtuvalt kofeiini toime esile tulemisest. Mehed enamasti kannatavad suuremaid koguseid kui naised ja kofeiinitarbijate kofeiinitaluvus on parem kui mittetarbijatel (Sökmen jt, 2008). Suured doosid võivad sageli põhjustada kõrvaltoimeid nagu näiteks liigset ärevust, rahutust, peavalu, peapööritust, närvilisust, unetust ja seedetrakti häireid (Sökmen jt, 2008). Kofeiini manustamine mõõdukas koguses (3–6 mg/kg) annab kõige paremaid tulemusi sooritusvõimele nii meeskonna-, kestvus-, sprindi- kui ka jõualadel (Astorino ja Roberson, 2010).

1.5.2 Manustamisviis

Graham jt (1998) viisid läbi uuringu 9 hästi treenitud jooksjaga, kellele manustati kofeiini erinevates vormides. Osalejad pidid läbima viis katset jooksulindil suutlikkuseni ja 60 minutit enne sooritust anti neile üks alljärgnevast: kapsel platseeboga, kapsel kofeiiniga, tavaline kohv, kofeiinivaba kohv või kofeiinivaba kohv koos kofeiini sisaldava kapsliga. Vastupidavuslikku töövõimet parandas kõige paremini kofeiini sisaldav kapsel, mis võimaldas jooksjatel läbida 2–3 lisakilomeetrit. Mitmed asjakohased uuringud on jõudnud sama arusaamani (Goldstein jt, 2010; Sökmen jt, 2008).

Wiles jt (1992) uurisid kofeiinivaba ja kofeiini sisaldava kohvi mõju keskmajaajooksjate töövõimele. Kofeiiniga kohvi manustamise järgselt paranes 1500 m läbimise aeg keskmiselt 4,2 s võrreldes platseeboga ning sportlased suutsid viimase 400 m ajal näidata kiiremat lõpuspurti kui kofeiinivabas katses. Tuginedes saadud andmetele parandab kohvi joomine töövõimet, kuid mitmeski mõttes on kasulikum tarbida kofeiini siiski kapsli kujul, mille eelised on väike suurus, lihtne manustamisviis ja kontrollitud doos (Sökmen jt, 2008). Enamus taolisi uuringuid on siiski näidanud, et kohvi joomine ei avalda mõju nii suures ulatuses kui puhas kofeiin (Goldstein jt, 2010). Arvatakse, et tavalises kohvis leidub selliseid komponente, mis segavad kofeiini mõju täielikku avaldumist.

Sooritusvõime parandamise eesmärgil tarbitakse kofeiini põhiliselt joogis lahustatuna (Astorino jt, 2012a; Cureton jt, 2007; Del Coso jt, 2012) või puhtal pulbrilisel kujul kapslisse pakituna (Bell ja McLellan, 2002; Greer jt, 1998; Roelands jt, 2011). Oluliselt vähem on uuritud kofeiini sisaldava nätsu (Farhadi ja Hadi, 2011) või energiabatooni (Hogervorst jt, 2008) manustamist sooritusvõime parandamise eesmärgil. Sportlased, kes soovivad kofeiini toidulisandina tarbida, peavad katsetuste käigus jõudma neile sobivaima manustamisviisini.

1.5.3 Manustamise ajastus

Bell ja McLellan (2002) uurisid kofeiini ergogeense toime kestvust manustatuna 1, 3 ja 6 tundi enne maksimaalset pingutust. Aeg suutlikkuseni pikenes igapäevastel kofeiinitarbijatel nendes katsetes, milles kofeiinikapsel (5 mg/kg) võeti sisse 1 ja 3 tundi enne starti. Tulemus ei paranenud, kui kofeiin manustati 6 tundi enne testi. Võrreldud on ka ühekordse suure doosi ja sama koguse väiksemate annuste korduvat manustamist kehalise tegevuse ajal (Goldstein jt, 2010). Erinevusi nende kahe manustamisviisi vahel ei leitud. Sökmen jt (2008) soovivad päeva peale jaotatud korduvaid annuseid tarbida sportlastel, keda ootavad ees terve päeva kestvad võistlused. Samas ei tohiks manustamine jääda liiga õhtusesse aega, sest siis võib kannatada unekvaliteet, mis mõjutab jällegi sooritust.

Enamikes uuringutes on kofeiini manustatud 60 minutit enne sooritust (Burke, 2008; Doherty ja Smith, 2004). Põhjuseks kofeiini kiire imendumisvõime, mis tagab maksimaalse kofeiini kontsentratsiooni veres ligikaudu 1 tund pärast tarbimist (Graham, 2001). Samas on leitud, et kofeiin avaldab ergogeenset mõju ka lühema toimeajaga (15–30 min) (Goldstein jt, 2010). Pärast maksimaalse taseme saavutamist langeb kofeiini tase veres 4–5 tunni jooksul poole võrra ja 6–7 tunni möödudes on ligikaudu 75% kofeiini kehast eemaldatud (Sökmen, 2008).

1.5.4 Treenituse tase

Kofeiini toime avaldumisel mängib oma osa ka indiviidi treenitus (Graham, 2001). Collomp jt (1992) uuring on üks vähestest, mis käsitleb kofeiini mõju treenitud ja treenimata inimestele. Hästi treenitud ujumised, kellele manustati kofeiini, parandasid oluliselt oma 100 m vabaltujumise kiirust võrreldes vähem treenitud ujumistega. Uuring kinnitab tõdemust, et kõrge intensiivsusega lühiajalisel pingutusel mängib treenitus olulist rolli. Samas vastupidavusliku suunitlusega kehalisel tööel parandab kofeiin töövõimet nii treenitud kui ka treenimata inimestel (Goldstein jt 2010).

Märkimisväärseid soorituse paranemisi tänu kofeiinile esineb rohkem treenitud inimestel (Goldstein jt, 2010; Graham, 2001). Antud seisukohta kinnitab ka Astorino jt (2012b) uuring, milles tõdeti, et kofeiini (5 mg/kg) manustamise järgselt suutsid veloergomeetril oluliselt oma eelnevat aega parandada vaid treenitud mehed. Tõenäoliselt on kõrge anaeroobse töövõimega sportlaste organismis treeningu tulemusena tekkinud teatud muutused, mis hõlbustavad kofeiini toime esile tulemist. Sellepärast on kõige rohkem kofeiinist kasu treenitud sportlastel, kes on kohanenud spetsiifiliste kõrge intensiivsusega treeningutega (Goldstein jt, 2010).

1.5.5 Töösse kaasatud lihased

Green jt (2007) uurisid kofeiini mõju nii üla- kui alakehalihastele. Jalapressis suutsid vaatluselused teha oluliselt rohkem korduseid kofeiiniga (6 mg/kg) ($12,5 \pm 4,2$ vs $9,9 \pm 2,6$) kui platseeboga. Samas rinnalt surumises ei täheldatud kofeiini positiivset mõju sooritusele. Woolf jt (2008) jõudsid vastupidise tulemuseni, leides, et kofeiin parandab hoopis rinnalt surumise resultaati, aga mitte jalapressis. Del Coso jt (2012) järeldasid, et piisava koguse kofeiini (3 mg/kg) manustamise korral paranes nii üla- kui alakehalihaste töövõime. Seega kofeiini mõju erinevate lihasgruppide töövõimele ei ole üheselt selge.

Andmeid, millest tuleneb erinevate lihasgruppide tundlikkus kofeiini suhtes, on väga vähe. Üheks seletuseks võiks ehk olla kofeiini otsene mõju lihasele (Graham, 2001). Kuna aeglastes lihaskiududes on rohkem adenosini retseptoreid kui kiiretes lihaskiududes, siis on nad kofeiini suhtes tundlikumad (Graham, 2001). Seega jalalihastes, milles on rohkem aeglaste lihaskiude, peaks kofeiini toime olema tugevam. Woolf jt (2008) spekulatsioonid, et kofeiini toime avaldub paremini suurema lihasmassiga inimestel, kui võtta arvesse kofeiini otsest mõju lihasele.

1.5.6 Harjumuspärane kofeiini tarbimine

Huvitava tõdemuseni tulid Bell ja McLellan (2002), kes uurisid kofeiini ergogeense toime kestvust. Katsealustele, kes olid liigitatud kofeiini igapäevasteks tarbijateks (≥ 500 mg) ja mittetarbijateks (≤ 50 mg), manustati kofeiini (5 mg/kg) 1, 3 ja 6 tundi enne suutlikkuse pingutust veloergomeetrial. Selgus, et kofeiini toime kestis mittetarbijatel 3 tundi kauem kui tarbijatel. Nii mõneski uuringus on jõutud tulemusteni, milles kofeiini tarbijate ja mittetarbijate sooritusvõime vahel ei täheldata toimeaine manustamise järgselt olulisi erinevusi (Graham, 2001). Näiteks Wiles jt (1992) leidsid, et kofeiin parandab küll 1500 m jooksu läbimise aega, aga erinevusi igapäevaste tarbijate ja mittetarbijate vahel ei leitud.

Selleks, et adekvaatselt hinnata kofeiini ergogeenset toimet, tuleks teada uuritavate igapäevast kofeiini tarbimise määra. Kofeiini harjumuspärane manustamine muudab indiviidi tundlikkust toimeaine suhtes (Sökmen jt, 2008), mis omakorda mõjutab efekti andva doosi suurust. Piisav annus tuleks leida katsetamise käigus ja eesmärgiga vältida liiga suuri koguseid, millega kaasnevad sageli ebameeldivad kõrvaltoimed (Sökmen jt, 2008).

1.6 Kofeiini mõju vastupidavuslikule töövõimele kõrge temperatuuriga keskkonnas

Kofeiini vastupidavuslikku töövõimet parandav toime mõõduka temperatuuriga keskkonnas on kinnitust leidnud arvukates uuringutes (Burke, 2008; Doherty ja Smith, 2004; Goldstein jt, 2010; Graham ja Spriet, 1995). Väga vähe on seni uuritud kofeiini mõju töövõimele kõrge temperatuuriga ($\geq 25^{\circ}\text{C}$) keskkonnas ja enamus saadud andmetest näitab, et aklimatiseerumata inimesel niisugustes keskkonnatingimustes kofeiini vastupidavuslikku töövõimet parandav efekt puudub (Cheuvront jt, 2009; Cohen jt, 1996; Roelands jt, 2011).

Cohen jt (1996) uurisid 7 kõrge vastupidavusliku treenituse tasemega sportlast kolmel 21km maanteejooksul kõrge suhtelise õhuniiskuse (ingl k *relative humidity* – RH) ja temperatuuriga (24–28°C) keskkonnas. Vaatlusalused manustasid 60 minutit enne starti kapsli, mis sisaldas kas platseebot või kahes erinevas doosis kofeiini (5 ja 9 mg/kg). Kofeiin ei mõjutanud 21 km läbimiseks kulunud aega olenemata manustatud doosist. Jooksu lõpuks olid vaatlusalused ~4% ulatuses dehüdreerunud. Kõrge temperatuur ja intensiivne kehaline pingutus põhjustavad naha veresoonte laienemise, mis soodustab liigse soojuse juhtimist nahapinnale, kust see higi aurustumise teel ümbritsevasse keskkonda hajub (Hargreaves, 2008). Organismi suur vedelikukaotus, mida joogiga ei asendata, põhjustab dehüdratsiooni. See omakorda vähendab südame löögi- ja minutimahtu, vererõhku, lihase verevarustust ja

inimese võimet taluda hüpertermiat (Nybo, 2008). Tõenäoliselt võis Cohen'i jt (1996) uuringus kofeiini ergogeense efekti varjutada dehüdratsioonist tingitud väsimus. Jääb selgusetuks, kas kofeiini töövõimet parandav toime jäi olemata pelgalt kuumastressist, dehüdratsioonist või mõlema koosmõjust tingituna.

Adenosiini retseptorite antagonismi peetakse kofeiini peamiseks toimemehhanismiks (Fredholm, 1999). Kontrollimaks selle toimemehhanismi paikapidavust ka kõrge temperatuuriga kuivas keskkonnas (40°C; RH 20–30%), viisid Cheuvront jt (2009) läbi uuringu kehaliselt aktiivsete meestega. Vaatlusalustele manustati 60 minutit enne töövõime testi kas 9 mg/kg kofeiini, 2000 mg kvartsetiini või platseebot. Kvartsetiin on flavonoid ja sarnaselt kofeiiniga adenosiini retseptorite antagonist, mis tõenäoliselt omab ergogeenset toimet (Cheuvront jt, 2009). Seega peaks kvartsetiin mõjutama vastupidavuslikku töövõimet sarnaselt kofeiinile juhul, kui adenosiini retseptorite antagonism on peamiseks toimemehhanismiks. Vaatlusalused pedalisid veloergomeetril 30 minutit (50% VO₂max), millele järgnes 15 minutit intensiivsemat väntamist eesmärgiga sooritada antud aja jooksul võimalikult suur töö hulk. Andmetest selgus, et kofeiini ega kvartsetiini manustamine ei parandanud uuritavate vastupidavuslikku töövõimet. Seega adenosiini retseptorite antagonism ei pruugi olla peamine toimemehhanism kõrge temperatuuriga kuivas keskkonnas.

Üheks põhiliseks väsimuse põhjustajaks kõrge temperatuuriga keskkonnas peetakse kriitiliselt tõusnud keha süvatemperatuuri (Hargreaves, 2008). On leitud, et hüpertermia (süvatemperatuur >38°C) suurendab kesknärvisüsteemi väsimust, mis omakorda langetab töövõimet (Nybo, 2008). Roelands jt (2011) leidsid samuti, et kõrge süvatemperatuur pärsib kehalist töövõimet. Nende uuringu peamine eesmärk oli hinnata kofeiini mõju vastupidavuslikule töövõimele kõrge temperatuuriga (30°C) keskkonnas, mille RH jäi 50–60% vahele. Treenitud vaatlusalused sooritasid 2 vastupidavusliku töövõime testi veloergomeetril 1 nädalase vahega. Erinevus seisnes toimeaines (6 mg/kg kofeiini või platseebot), mida manustati 60 minutit enne töövõime testi. Esialgu pedalisid uuritavad veloergomeetril 60 minutit mõõdukas tempos, millele järgnevalt väntasid kindla töö hulga võimalikult lühikese ajaga. Vaatlusalused valisid ja muutsid tempot vastavalt oma jõuvarude tunnetamisele. Kofeiin ei lühendanud ülesande täitmiseks kulunud aega võrreldes platseeboga. Samas kofeiini manustamise korral tõusis vaatlusaluste süvatemperatuur oluliselt kõrgemale võrreldes platseeboga. Ka Cheuvront jt (2009) uuringus tõusis vaatlusaluste süvatemperatuur kofeiiniga kõrgemale võrreldes teiste toimeainetega. Samas tõus ei olnud niivõrd märkimisväärne, et seda oleks peetud oluliseks töövõime mõjutajaks. Siinkohal võis rolli mängida RH, mis Roelands jt (2011) uuringus oli kõrgem ning võis takistada soojuse ärajuhtimist väliskeskkonda. Liigne soojus, millest keha ei suuda vabaneda, põhjustab

süvatemperatuuri märgatavat tõusu. Tõenäoliselt varjas just hüpertermia Roelands jt (2011) uuringus kofeiini vastupidavuslikku töövõimet parandava efekti.

Cureton jt (2007) ja Del Coso jt (2008) uurisid kofeiini mõju treenitud jalgratturite töövõimele kõrge temperatuuriga keskkonnas. Cureton'i jt (2007) uuringus manustasid sportlased kas platseebot, spordijooki või spordijoois lahustatud kofeiini (5,3 mg/kg) testi kolmes erinevas etapis. Töövõime test veloergomeetril viidi läbi laboratoorses tingimustes (28,5°C ja RH 60%). Uuritavad pedaalisisid 120 min mõõduka intensiivsusega, millele järgnes 15 minutit maksimaalse tempoga väntamist. Del Coso jt (2008) andsid aklimatiseerunud vaatlusalustele kofeiini (6 mg/kg) kapslis 45 minutit enne testi algust. Töövõime testis pidid uuritavad kliimakambris (36°C ja RH 29%) pedaalima veloergomeetril samuti 120 min, kuid ilma maksimaalse lõpukiirenduseta. Mõlemas uuringus parandas kofeiin võrreldes platseeboga mõningaid vaatlusaluste töövõime näitajaid. Samas nendes uuringutes on väikesed nüansid, mida tuleks kindlasti järelduste tegemisel arvesse võtta. Nimelt Cureton'i jt (2007) uuringus manustatud spordijookide süsivesikute sisaldus oli erinev, mis iseenesest võis juba tulemust mõjutada kofeiini arvesse võtmata. Seega ei saa öelda, et töövõime näitajad paranesid üksnes tänu kofeiinile. Del Coso jt (2008) uuringus osalesid aklimatiseerunud jalgratturid. Kuna varasemalt on vastupidavuslikku töövõimet kõrge temperatuuriga keskkonnas uuritud ainult aklimatiseerumata vaatlusalustel, siis jääb hetkel teadmatuks kas aklimatiseerunud inimestel avaldub kofeiini mõju kuidagi teisiti.

Põhiosa uuringutest ei ole täheldanud kofeiini positiivset mõju vastupidavuslikule töövõimele kuumastressi tingimustes (Cheuvront jt, 2009; Cohen jt, 1996; Roelands jt, 2011). Erandiks on Ganio jt (2011) uuring, milles võrreldi kofeiini mõju töövõimele mõõduka (12°C; RH 60%) ja kõrge temperatuuriga (33°C; RH 41%) keskkonnas. Kofeiiniga (3 mg/kg) kapsel manustati 60 minutit enne testi ja sama kogus veel 45. tööminutil. Esimeses testiosas pedaalisisid treenitud meesratturid 90 minutit tempoga, mis vastas 60–70% nende VO_2 max-st. Teises testiosas tuli 15 minuti jooksul sooritada võimalikult suur hulk tööd. Andmetest selgus, et kõrge temperatuur vähendas vastupidavuslikku töövõimet 19% olenemata toimeainest. Samas kofeiin parandas vastupidavuslikku töövõimet 5% võrreldes platseeboga mõlema temperatuuri puhul. Kofeiin ja kõrge temperatuur avaldasid kesknärvisüsteemile samaaegset mõju ja kuna 33°C juures suutis kofeiin esile tuua oma ergogeense toime, siis võib oletada, et seekord varjutas kofeiin hüpertermia.

Kõrge ümbritseva temperatuuriga toimetulek on juba iseenesest inimesele suureks väljakutseks. Lisades sinna juurde veel raske kehalise pingutuse, muutub olukord kurnavalt stressirohkeks (Nybo, 2008). Hargreaves (2008) pakub omalt poolt välja ridamisi meetodeid, mis aitavad kõrge temperatuuriga keskkonnas leevendada töövõime langust. Kuna

hüpertermiat peetakse oluliseks väsimuse tekitajaks kuumas kliimas (Nybo, 2008), siis eesmärk võiks olla keha süvatemperatuuri võimalikult madalal hoidmine. Efektiivseteks meetoditeks peetakse aklimatiseerumist, keha eeljahutamist ja vedeliku tarbimist (Hargreaves, 2008). Paljud sportlased kasutavad jahutavaid veste, mis leevendavad kuumastressi. Aklimatiseerumine aitab omakorda organismil keskkonnaga kohaneda ning piisav vedeliku tarbimine enne ja soorituse ajal aitab väsimust ennetada (Hargreaves, 2008).

1.7 Kokkuvõtte kirjanduse ülevaatest

Kofeiini mõju kehalisele töövõimele ja kognitiivsetele funktsioonidele on teaduslikku tähelepanu ja praktilist huvi pälvinud juba enam kui saja aasta vältel. Seni teostatud uuringute andmete põhjal võib kokkuvõttes väita järgmist: 1) kofeiini manustamine toidulisandina parandab erinevate alade sportlaste sportlikku saavutusvõimet, 2) kofeiini efektiivne doos töövõime parandamise seisukohast on 3–6 mg/kg, kusjuures suuremad doosid reeglina täiendavat efekti ei anna, 3) kofeiini toime töövõimele on tavaliselt tugevam, kui seda ühendit manustatakse mitte kohvi, vaid pulbri või tableti kujul, 4) kofeiini kehalist töövõimet parandav mõju tuleb eriti selgesti esile vastupidavustöö puhul nii treenimata inimestel kui treenitud sportlastel, 5) lühiajalisel kõrge intensiivsusega tööl kestusega 30 s kuni 7–8 min võib kofeiin oluliselt parandada treenitud sportlaste saavutusvõimet, kuid reeglina ei oma efekti treenimata inimeste puhul, 6) andmed kofeiini mõjust töövõimele jõuharjutuste sooritamisel on vastuolulised, 7) kofeiini manustamine parandab kognitiivset võimekust, eriti pikaajalise stressi ja sunnitud unetuse olukorras, 8) kofeiini toimemehhanism kehalise ja kognitiivse võimekuse parandamisel ei ole üheselt selge, kuid ta mõjutab organismi talitlust nii kesknärvisüsteemi kui ka skeletilihase tasandil tõenäoliselt kõige enam adnosiini retseptorite kaudu.

Mõned kofeiini toimega seonduvad aspektid on seni vaid vähest tähelepanu pälvinud. Näiteks on teaduskirjanduses vaid väheseid ja seejuures vastuolulisi andmeid kofeiini mõjust kehalisele töövõimele kõrge temperatuuriga keskkonnas. Neljast uuringust, kus aklimatiseerumata inimestele manustati puhast kofeiini, kolme tulemused näitasid üheselt, et kõrge temperatuuriga keskkonnas kofeiinil töövõimet parandav efekt puudub (Cohen jt, 1996, Chevront jt, 2009, Roelands jt, 2011). Seevastu Ganio jt (2011) andmetel võib kofeiin sooritusvõimet parandada enam-vähem ühtviisi nii jahedas kui ka kõrge temperatuuriga keskkonnas. Arvestades eelöeldut, aga ka seda, et kofeiini toimet kõrge temperatuuriga keskkonnas on seni uuritud üksnes meestel, kelle töövõimet on hinnatud valdavalt

veloergomeetril, jääb küsimus kofeiini kasutamise mõttekusest sooritusvõime parandamise eesmärgil kõrge temperatuuriga keskkonnas praegu veel lahtiseks.

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Käesoleva uurimistöö peamiseks eesmärgiks oli välja selgitada kofeiini manustamise mõju aklimatiseerumata noorte naiste vastupidavuslikule töövõimele kõrge temperatuuriga kuivas keskkonnas.

Eesmärgi saavutamiseks seati uurimistööle järgmised ülesanded:

1. Vastupidavusliku töövõime hindamine kofeiini ja platseebo manustamise foonil kõrge temperatuuriga (42°C) kuivas (RH 20%) keskkonnas.
2. Südame löögisageduse registreerimine töö ajal.
3. Naha- ja süvatemperatuuri registreerimine töö ajal.
4. Organismi veestaatuse hindamine.
5. Laktaadi kontsentratsiooni määramine veres enne tööd, töö ajal ja töö lõpetamisel.
6. Vaatlusaluste subjektiivsete hinnangute registreerimine nende poolt tajutud pingutuse, väsimuse ja temperatuuri suhtes.

3. METOODIKA

3.1 Vaatlusalused

Uuringus osales vabatahtlikkuse alusel 10 hästi treenitud noort naist. Vaatlusaluste kofeiinitarbimine oli väike, jäädes enamasti alla 60 mg päevas (~1 kruus kohvi). Uuringus osalemise kriteeriumiteks olid naissugu, vanus vähemalt 18 eluaastat, rasestumisvastaste tablettide kasutamine ja maksimaalne hapnikutarbimise võime > 40 ml/kg/min. Ükski vaatlusalune ei olnud vähemalt kahe kuu vältel enne uuringus osalemist reisinud sooja kliimaga riikides. Uuritavate keskmine (\pm SD) vanus, pikkus, kehamass ja maksimaalne hapnikutarbimise võime (VO_{2max}) olid vastavalt $22,5 \pm 2,0$ aastat, $167,3 \pm 5,2$ cm, $61,01 \pm 5,42$ kg ja $45,6 \pm 4,0$ ml/kg/min. Uuringuteks oli olemas Tartu Ülikooli inimuuringute eetika komitee luba. Osalejatele anti põhjalik ülevaade uuringu protokollist, mille järel nad allkirjastasid nõusolekuvormi.

3.2 Uuringu üldine korraldus

Uuring toimus ajavahemikus oktoober 2012 kuni veebruar 2013 Tartu Ülikooli spordibioloogia ja füsioteraapia instituudi spordifüsioloogia laboratooriumis. Uuritavad käisid laboris 4 korda. Esimesel korral tutvustati neile uuringuga seotud protseduure. Mõõdeti antropomeetrilised näitajad ja määrati VO_{2max} . Keha pikkus määrati fikseeritud mõõdulindiga ja kehamass elektroonilise kaaluga (CH3G- 150I Combics, Sartorius AG, Saksamaa). Teisel külastuskorral tutvusid vaatlusalused kliimakambriga (Design Environmental Ltd., Ühendkuningriik), mille temperatuur oli seadistatud $42^{\circ}C$ -le ja RH 20%-le. Uuritavad kõndisid 20 minutit jooksulindil kiirusega 6 km/h. Liikuraja kaldenurk seati iga uuritava puhul individuaalselt nii, et koormuse intensiivsuseks oli 60% VO_{2max} . Andmeid ei registreeritud, kuna selle sessiooni eesmärk oli lihtsalt vaatlusalustele protseduuri tutvustamine.

Uuringu põhiosa koosnes kahest vastupidavusliku töövõime testist kõrge temperatuuriga kuivas keskkonnas ($42^{\circ}C$; RH 20%). Test algas mõlemal korral ühel ja samal kellaajal ning seisnes kõndimises liikuvale jooksurajal intensiivsusega 60% VO_{2max} kuni kurnatuseni. Kahe testi vahele jäi 7 päeva. Juhuslikkuse alusel manustati uuritavale ühel korral želatiinkapslis kofeiini (Oriola, Soome) ja teisel platseebona glükoosi (Cerestar, Saksamaa). Vaatlusalused

ja nendega vahetult kokku puutunud uurijad ei teadnud kummal korral oli tegemist platseeboga ja kummal kofeiiniga.

Vaatlusalustel paluti hoiduda treeningutest vähemalt 24h enne testi.

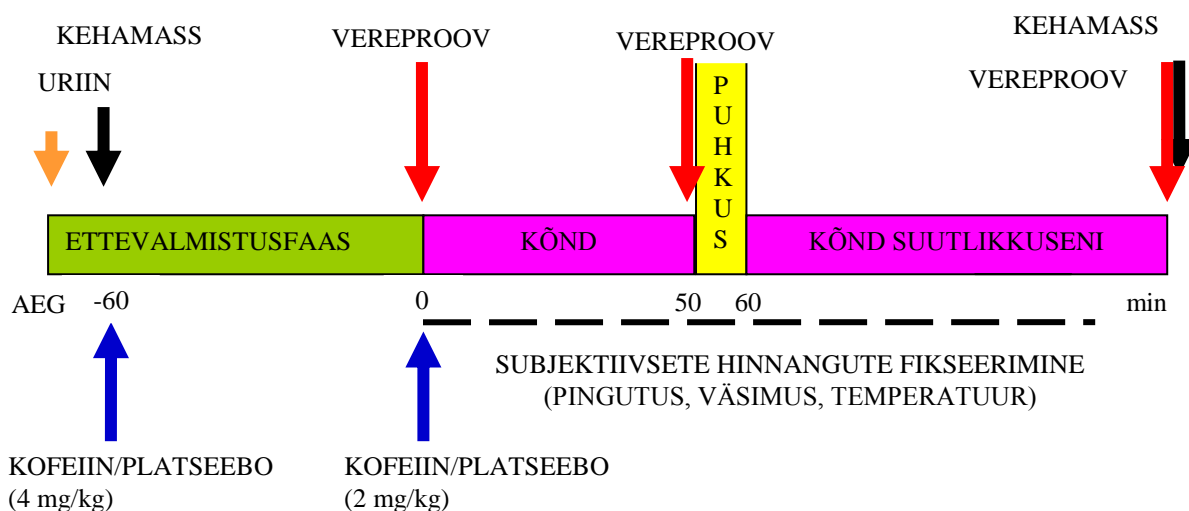
3.3 VO₂max määramine

Vaatlusaluste VO₂max määramiseks kasutati modifitseeritud Balke testi (Davis, 2006) liikuval jooksurajal (Viasys/Jaeger LE300 C, Saksamaa). Lindi liikumise algkiirus oli 6 km/h ja kaldenurk 5%. Esimese 4 minuti järel suurendati kaldenurka 8%-ni. Edaspidi iga 4 minuti möödudes suurendati nurka 1% võrra lindi liikumise kiirust muutmata. Alates 20. minutist jäi tõusnurk konstantseks ja kiirust tõsteti iga minuti järel 1 km/h võrra seni, kuni vaatlusalune suutis tööd jätkata. Seega, testi vältel kõndisid ja jooksid vaatlusalused kaldenurkadel 5-11%. Hingamisgaaside koostist määrati jooksvalt kompleksel analüsaatoril (MasterScreen CPX, Viasys Healthcare GmbH, Saksamaa), mida kalibreeriti enne iga testi. Testi kestus ja lõppkiirus oli uuritavatel erinev, sõltudes nende kehalisest vormist.

3.4 Vastupidavusliku töövõime hindamine

Uuritavad manustasid 60 minutit enne töövõime testi algust 4 mg/kg puhast kofeiini või platseebot. Seejärel alasti vaatlusalused kaaluti 0,001 kg täpsusega. Rektaaltemperatuuri anduri paigaldas vaatlusalune ~20 minutit enne töövõimetesti algust. Seejärel kinnitati uuritava kehale nahatemperatuuri ja südame löögisageduse andurid. Vaatlusalune sisenes kliimakambrisse 10 minutit enne töövõime testi algust. Kliimakambri temperatuur oli uuringute ajal 42°C ja RH 20%. Vahetult enne testi algust manustasid uuritavad veel 2 mg/kg kofeiini või platseebot. Töövõime test seisnes kõndimises liikuval jooksurajal kiirusega 6 km/h kuni kurnatuseni. Raja kaldenurka reguleeriti individuaalselt nii, et koormuse suhteline intensiivsus vastas 60%-le uuritava VO₂max tasemest. Esimese 50 min möödudes oli 10-min puhkepaus, mille vältel uuritav seisis jooksurajal. Seejärel kõndis ta edasi katkestusteta kuni kurnatuseni. Vastupidavusliku töövõime näitajana fikseeriti kõnni kestus selle algusest kuni kurnatuseni, jättes välja 10-minutilise puhkepausi. Uuritavat julgustati mõlema töövõime testi ajal endast maksimumi andma. Testi läbiviiv uurija oli valmis testi lõpetama vaatlusaluse märguande peale (st kurnatuse saabudes) või kui esines üks alljärgnevatest asjaoludest: 1) rektaaltemperatuuri tõus vähemalt 5 minutiks tasemele 40°C; 2) südame löögisageduse tõus vähemalt 5 minutiks tasemele 95% maksimumist; 3) kuumatalumatuse

sümptomite (peapööritus, iiveldus, peavalu) ilmumine. Testi algusest alates oli vaatlusalustele tagatud pidev joogivee kättesaadavus, mida nad võisid tarbida vastavalt soovile. Ühe pudeli (650 ml) tühjaks saamisel, asendati see koheselt teisega. Tarbitud vee üle peeti täpset arvestust. Töövõime testi ajal jälgiti ja registreeriti pidevalt vaatlusaluse südame löögisagedust ja rektaaltemperatuuri. Testi lõpus, pärast kogu keha hoolikat rätikuga kuivatamist, mõõdeti teist korda alasti uuritava kehamass. Joonis 1 annab ülevaate erinevatel ajahetkedel toimunud tegevustest.



Joonis 1. Töövõime testi korraldus

3.5 Organismi veestaatuse hindamine

Uuritavatel paluti järgida võimalikult ühesugust vedelikutarbimist mõlemale testile eelnenud päeval. Nende organismi veestaatust hinnati uriini tiheduse ja osmolaalsuse alusel, mis määrati uuringupäeva hommikul võetud uriiniproovis. Uriini tiheduse mõõtmiseks kasutati refraktomeetrit (PDX-CL, VeeGee Scientific Inc., USA) ja osmolaalsuse määramiseks osmomeetrit (mudel 3250, Advanced Instruments Inc., USA).

Alasti vaatlusaluseid kaaluti uuringupäeval enne ja pärast töövõime testi. Joodud vee kogused registreeriti 1 g täpsusega, kasutades selleks digitaalset toidukaalu (Soehnle, Leifheit AG, Saksamaa). Võttes arvesse kehamassi muutuseid ja tarbitud vee kogust, arvutati üldine higikaotus töövõime testi jooksul. Higierituse intensiivsus kalkuleeriti jagades töö ajal kaotatud higi mahu milliliitrites töö kestusega minutites. Joomise intensiivsus kalkuleeriti analoogilisel viisil, võttes arvesse tarbitud vee kogust ja testi kestust.

3.6 Keha süvatemperatuuri mõõtmine

Keha süvatemperatuuri registreerimiseks kasutati rektaaltemperatuuri andurit (REC-UU-VL5-0, Grant Instruments Ltd, Ühendkuningriik), mille vaatlusalune paigaldas 10 cm sügavusele pärasoole sulgurlihase taha. Andur oli kaabliga ühendatud andmeid salvestava aparatuuriga (SQ2020-1F8, Grant Instruments Ltd, Ühendkuningriik), mis fikseeris temperatuuri iga minuti tagant.

3.7 Nahatemperatuuri mõõtmine

Nahatemperatuuri registreerimiseks paigaldati vaatlusalusele nahatemperatuuri andurid (DS1922L, Maxim Integrated Products, Inc, USA). Kõik 4 andurit kinnitati ühele kehapoolale (rinnale, õlavarrele, reiele ja säärele). Temperatuur registreeriti 2,5 minutilise intervalliga ja andurites salvestatud andmed kanti pärast nende kehalt eemaldamist vastava seadme (DS1401-4+, Maxim Integrated Products, Inc, USA) abil üle arvutisse. Algandmetest lähtuvalt arvutati naha pinna kaalutud keskmine temperatuur kasutades Ramanathan'i (1964) valemit:

$$MST = 0,3 (t_{\text{rind}} + t_{\text{käsi}}) + 0,2 (t_{\text{reis}} + t_{\text{säär}}).$$

3.8 Südame löögisageduse registreerimine

Südame löögisageduse määramiseks kasutati pulsivööd (Suunto Dual Belt, Suunto Oy, Soome). Sellelt lähtuv informatsioon salvestati lauarvutisse telemeetrilisel teel, kasutades Suunto Monitor versioon 1.1.2 tarkvara (Suunto Oy, Soome).

3.9 Kapillaarvere analüüsid

Mõlema töövõime testi aegu võeti vaatlusaluse sõrmeotsast vereproovid (10 µl ja 200 µl) kolmel korral: vahetult enne testi algust ning esimese ja teise tööfaasi lõpus. Laktaadi kontsentratsioon määrati ensümaatilisel meetodil (Dr. Lange küvetitest LKM 140, Saksamaa), kasutades minifotomeetrit (LP 20 Plus, Dr. Lange, Saksamaa). Vereplasma mahu muutuste hindamiseks (Dill ja Costill, 1974) määrati täisvere analüsaatori Celltac α MEK-

6108K (Nihon Kohden, Jaapan) abil hemoglobiini kontsentratsioon kapillaarveres ja hematokrit.

3.10 Vaatlusaluste poolt tajutud pingutuse, väsimuse ja temperatuuri hindamine

Vaatlusaluste subjektiivseid hinnanguid nende poolt tajutud pingutusele, väsimusele ja keskkonna temperatuurile küsiti 10 minutilise intervalliga. Esimesed näitajad fikseeriti vahetult enne töövõimetest algust, viimased andmed aga registreeriti hetkel, mil vaatlusalune lõpetas kõndimise. Pingutust ja väsimust hinnati vastavalt Borg'i skaalale (Borg, 1982) ning temperatuuri taju vastavalt sellekohasele 17-tasemelisele skaalale (BSI, 2001), mis ulatus „väga palavast“ „väga külmani“.

3.11 Andmete statistiline töötlus

Andmete statistiliseks töötlemiseks kasutati tarkvaraprogramme Microsoft Excel ja Statistica versioon 10. Arvutati erinevate parameetrite aritmeetiline keskmine ja standardhälve. Andmete normaaljaotust kontrolliti Kolmogorov-Smirnovi testiga. Grupisiseste ja gruppidevaheliste erinevuste statistilise olulisuse hindamiseks kasutati kahefaktorilist korduvmõõtmistega dispersioonanalüüsi (ANOVA). Keskväärtuste paariviisiliseks võrdlemiseks kasutati Tukey HSD testi. Keskmiste väärtuste erinevus loeti statistiliselt oluliseks $p < 0,05$ korral, väärtusi $0,05 < p < 0,1$ käsitleti kui tõendeid tendentside esinemisest.

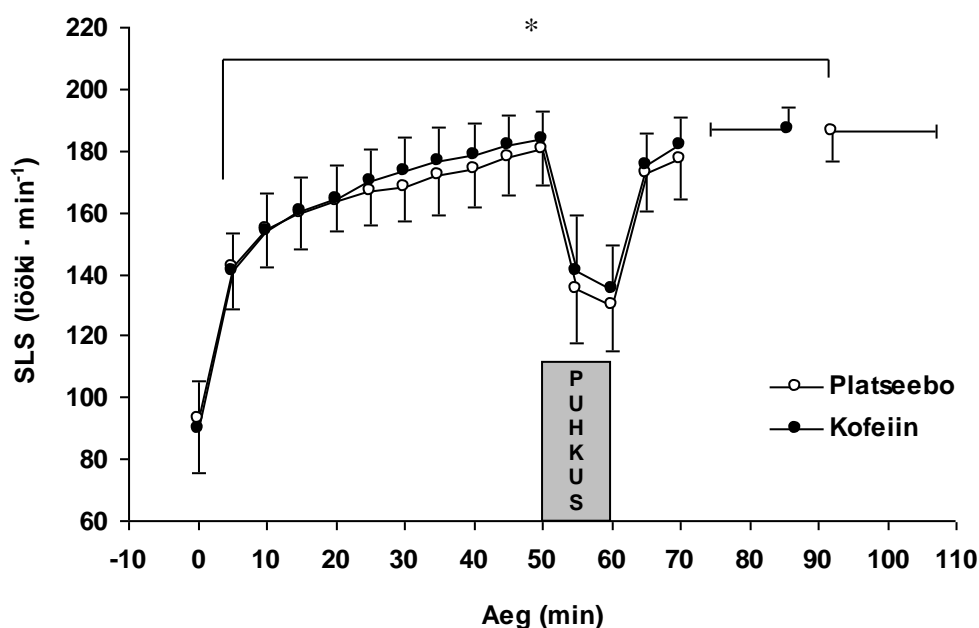
4. TÖÖ TULEMUSED

4.1 Töövõime

Vaatlusalused suutsid platseebo- ja kofeiiniuuringus kõndida vastavalt 82 ± 15 ja 76 ± 11 minutit ($p = 0,063$). Seega, tööeelne kofeiini manustamine võrreldes platseeboga vastupidavuslikku töövõimet oluliselt ei mõjutanud, kuid tõi esile küllaltki selge tendentsi töövõime languse suunas.

4.2 Südame löögisagedus

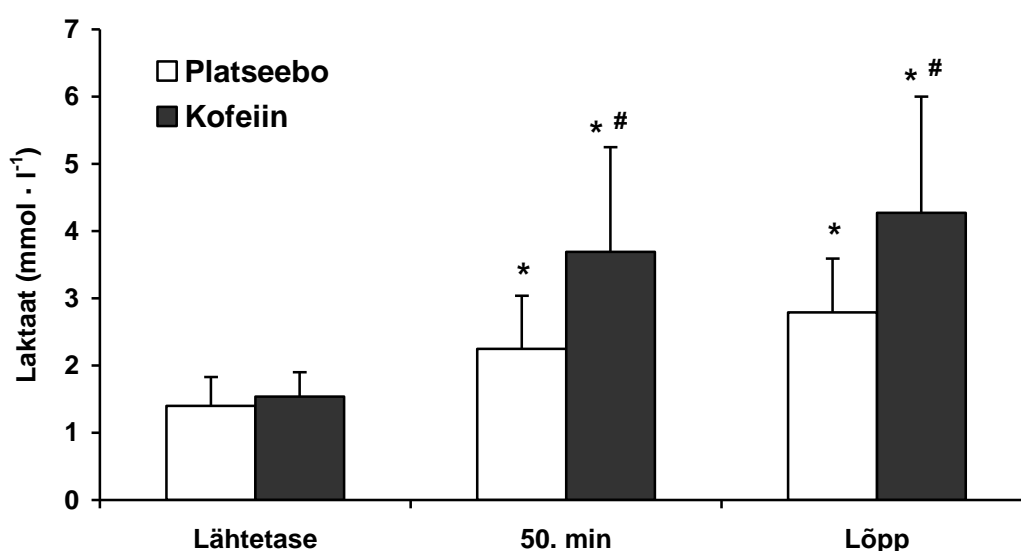
Manustatud aine peamõju pulsisagedusele oli mitteoluline ($F = 2,69$; $p = 0,136$) (joonis 2). Südame löögisagedus kofeiini- ja platseebouuringus ei erinenud ühelgi ajahetkel. Seevastu aja peamõju südame löögisagedusele oli oluline nii platseebo- kui ka kofeiiniuuringus ($F = 209,64$; $p < 0,001$). Mõlemas uuringus oli südame löögisagedus alates töö 5. minutist igas ajapunktis oluliselt kõrgem võrreldes lähtetasemega. Südame löögisagedus jäi lähtetaseme suhtes oluliselt kõrgele ka kogu 10-minutilise puhkepausi ajal.



Joonis 2. Südame löögisagedus. * $p < 0,05$ võrreldes lähtetasemega.

4.3 Laktaadi kontsentratsioon kapillaarveres

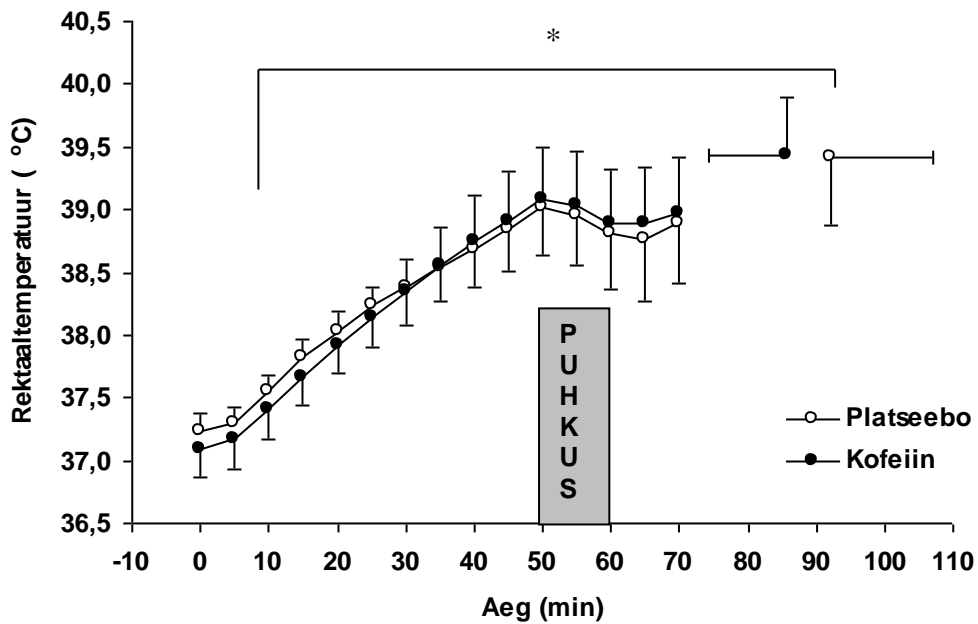
Manustatud aine peamõju laktaadi kontsentratsioonile osutus oluliseks ($F = 20,57$; $p < 0,001$). Laktaadi tööeelne tase kofeiini- ja platseebouuringus (vastavalt $1,54 \pm 0,36 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ja $1,40 \pm 0,43 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) ei erinenud ($p = 0,991$) (joonis 3). Seevastu töö 50. minutil ($3,61 \pm 1,51 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) ja testi lõpus ($4,15 \pm 1,62 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) oli laktaadi kontsentratsioon kofeiiniuuringus oluliselt kõrgem kui samal ajal platseebouuringus (vastavalt $2,20 \pm 0,77 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$; $p < 0,001$ ja $2,72 \pm 0,74 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, $p < 0,001$). Oluline peamõju laktaadi kontsentratsioonile veres oli ka ajal ($F = 23,21$; $p < 0,001$) ning oluliseks osutus ka manustatud aine ja aja koosmõju ($F = 10,44$; $p < 0,001$). Laktaadi kontsentratsioon kapillaarveres ületas oluliselt tööeelset taset nii töö 50. minutil kui ka vahetult pärast selle lõpetamist.



Joonis 3. Laktaadi kontsentratsioon kapillaarveres. * $p < 0,05$ võrreldes lähtetasemega, # $p < 0,05$ võrreldes platseeboga.

4.4 Rektaaltemperatuur

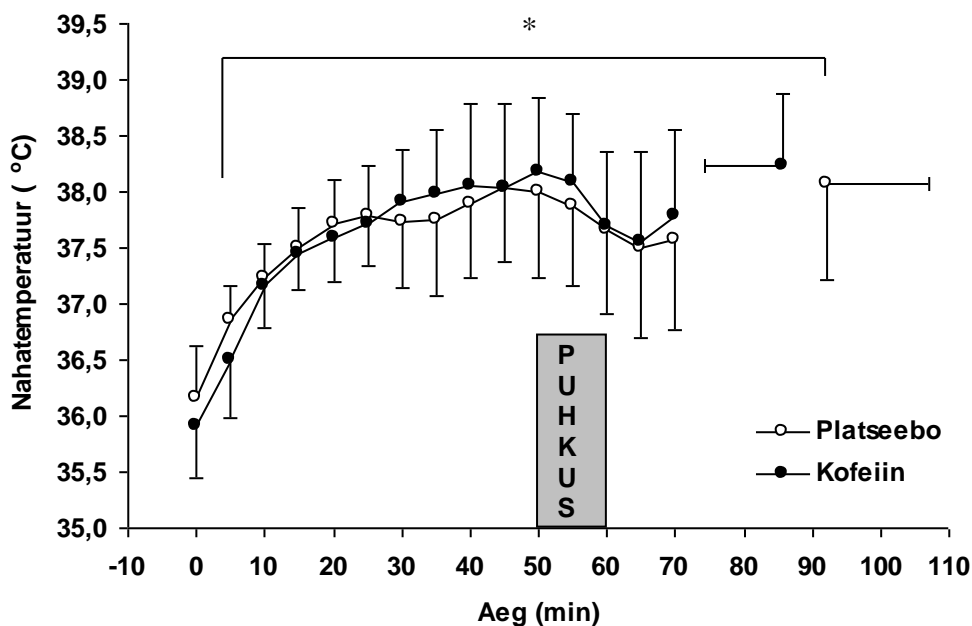
Manustatud ainel olulist peamõju rektaaltemperatuurile ei ilmnenud ($F = 0,06$; $p = 0,809$). Rektaaltemperatuur üheski ajapunktis platseebo- ja kofeiiniuuringus ei erinenud (joonis 4). Küll aga esines oluline aja peamõju rektaaltemperatuurile ($F = 122,44$; $p < 0,001$). Alates 10. tööminutist olid kõik registreeritud rektaaltemperatuuri näitajad nii platseebo- kui ka kofeiiniuuringus oluliselt kõrgemad võrreldes tööeelse tasemega.



Joonis 4. Rektaaltemperatuur. * $p < 0,05$ võrreldes lähtetasemega.

4.5 Naha keskmine temperatuur

Sarnaselt rektaaltemperatuuriga manustatud ainel olulist peamõju naha keskmisele temperatuurile ei esinenud ($F = 0,11$; $p = 0,752$), kuid aja peamõju osutus oluliseks nii platseebo- kui ka kofeiiniuuringus ($F = 36,54$; $p < 0,001$). Mõlemas uuringus tõusis naha keskmine temperatuur juba töö 5. minutiks tasemele, mis ületas oluliselt tööeelset taset ja jäi kõrgeks töövõime testi lõpuni (joonis 5).



Joonis 5. Naha keskmine temperatuur. * $p < 0,05$ võrreldes lähtetasemega.

4.6 Kehamass ja veestaatus

Vaatlusaluste kehamass platseebo- ja kofeiiniuuringus oli sarnane nii enne ($p = 0,804$) kui ka pärast ($p = 0,951$) töövõime testi (tabel 2). Testi ajal langes vaatlusaluste kehamass mõlemas uuringus olulisel määral ja enam-vähem ühevõrra.

Kahes uuringus olid sarnased vaatlusaluste uriini tihedus ($p = 0,798$) ja osmolaalsus ($p = 0,686$) töövõime testi eel, samuti testi ajal tarbitud vee kogus ($p = 0,172$) ja joomise intensiivsus ($p = 0,625$), eritunud higi hulk ($p = 0,899$) ja higierituse intensiivsus ($p = 0,291$). Oluline uuringutevaheline erinevus puudus ka testi ajal ilmnenud plasma mahu languses ($p = 0,482$).

Tabel 2. Kehamass ja veestaatus

Parameeter	Platseebo	Kofeiin
Kehamass (kg)		
enne testi	60,96 ± 5,55	61,03 ± 5,25
pärast testi	60,31 ± 5,53 *	60,29 ± 5,18 *
muutus	-0,65	-0,74
Uriini tihedus	1.0126 ± 0.0094	1.0138 ± 0.0100
Uriini osmolaalsus (mOsm · kg ⁻¹)	456 ± 303	521 ± 359
Joodud vesi (ml)	933 ± 457	829 ± 399
Joomise intensiivsus (ml · min ⁻¹)	10,2 ± 4,8	9,8 ± 4,8
Higikaotus (ml)	1581 ± 440	1566 ± 459
Higistamise intensiivsus (ml · min ⁻¹)	16,9 ± 3,1	18,1 ± 4,2
Vereplasma mahu muutus (%)	-5,1 ± 6,1	-4,4 ± 5,2

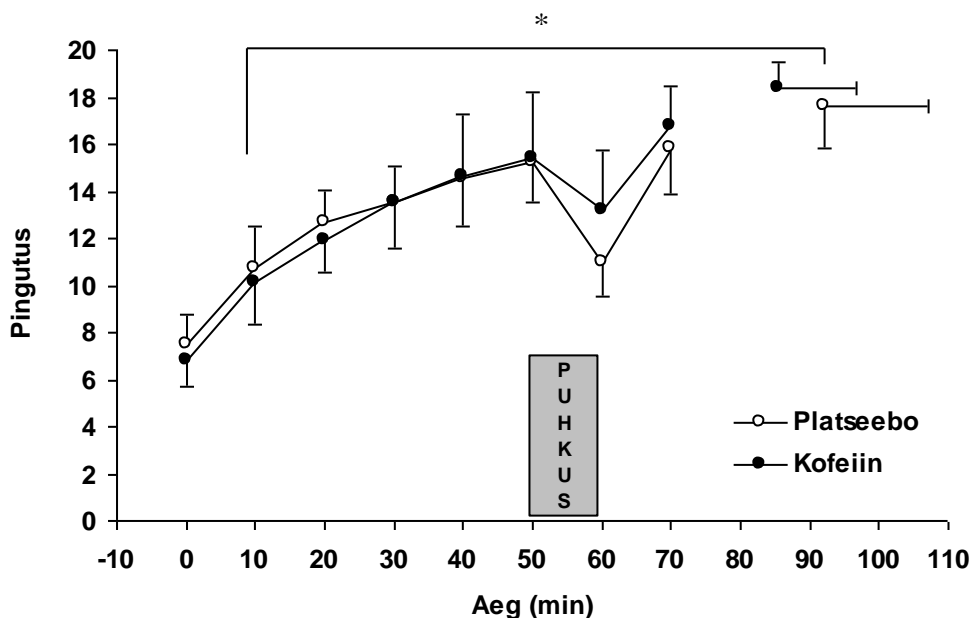
* $p < 0,05$ võrreldes enne töövõime testi

4.7 Vaatlusaluste poolt tajutud pingutus, väsimus ja keskkonna temperatuur

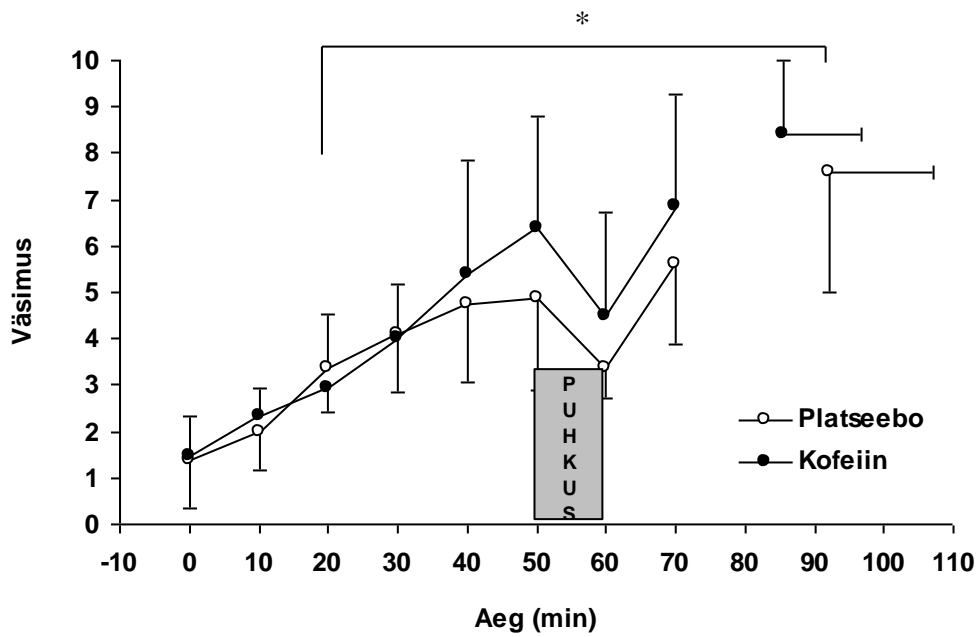
Manustatud ainel vaatlusaluste poolt tajutud pingutuse raskusastmele olulist peamõju ei olnud ($F = 0,44$; $p = 0,525$), küll aga esines see ajal ($F = 131,85$; $p < 0,001$). Alates 10. tööminutist oli nii platseebo- kui kofeiiniuuringus vaatlusaluste hinnang pingutusele oluliselt kõrgem lähtetasemest (joonis 6).

Manustatud ainel puudus oluline peamõju ka uuritavate poolt tajutud väsimusele ($F = 2,70$; $p = 0,139$), aga see ilmnes ajafaktoril ($F = 36,92$; $p < 0,001$). Mõlemas uuringus tõusis vaatlusaluste poolt tajutud väsimusaste töö 20. minutiks oluliselt üle lähtetaseme ja jäi kõrgenenuks testi lõpuni (joonis 7).

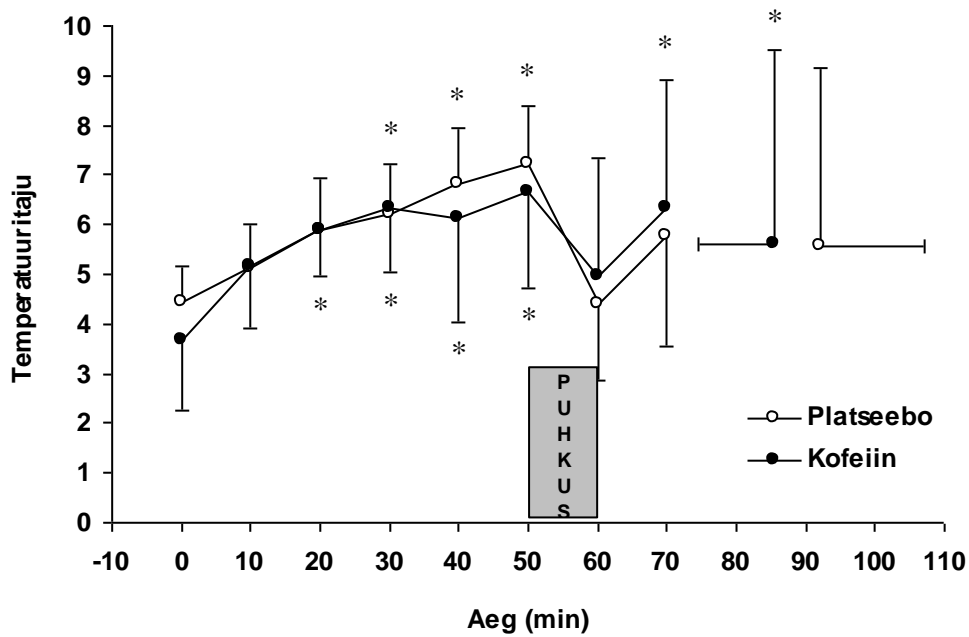
Manustatud ainel puudus oluline peamõju vaatlusaluste poolt tajutud keskkonna temperatuurile ($F = 0,09$; $p = 0,777$), kuid see ilmes ajafaktoril ($F = 3,55$; $p = 0,002$) (joonis 8). Kofeiiniuuringus ilmnesid temperatuuritajus olulised erinevused lähtetasemega võrreldes alates töö 20. minutist kuni testi lõpuni, välja arvatud 60. minut, kus temperatuuritaju osutus lähtetasemega sarnaseks. Platseebouuringus tajusid vaatlusalused keskkonna temperatuuri võrreldes lähtetasemega oluliselt kõrgemana töö 30., 40. ja 50. minutil.



Joonis 6. Tajutud pingutus. * $p < 0,05$ võrreldes lähtetasemega



Joonis 7. Tajutud väsimus. * $p < 0,05$ võrreldes lähtetasemega



Joonis 8. Tajutud temperatuur. * $p < 0,05$ võrreldes lähtetasemega

5. TULEMUSTE ARUTELU

Käesolevas uuringus hinnati kofeiini mõju noorte aklimatiseerumata naiste vastupidavuslikule töövõimele kõrge temperatuuriga kuivas keskkonnas. Töövõime näitajaks oli liikuval jooksurajal mõõduka intensiivsusega (60% VO₂max) kõnni kestus kurnatusseisundi saabumiseni. Saadud andmed näitavad, et akuutne tööeelne kofeiini manustamine koguses 6 mg/kg võrreldes platseeboga ülalmainitud tingimustes noorte aklimatiseerumata naiste sooritusvõimet ei paranda. See tulemus erineb selgesti varasemate mõõduka temperatuuriga keskkonnas teostatud uuringute andmetest, mida on üldistatud reas ülevaateartiklites (Burke, 2008; Doherty ja Smith, 2004; Goldstein jt, 2010, Tarnopolsky, 1994) ja mis kinnitavad kofeiini olulist positiivset mõju vastupidavuslikule töövõimele. Näiteks Goldstein jt (2010) märgivad oma analüüsi kokkuvõttes, et kofeiin, manustatuna doosides 3–7 mg/kg, pikendab konstantse intensiivsusega vastupidavustöö kestust kurnatuseni keskmiselt 24%. Tähelepanuväärne on, et Doherty ja Smith (2004) osutasid oma metaanalüüsis tõsiasjale, et kofeiini positiivne efekt tuleb oluliselt tugevamini esile testides, kus vastupidavusliku töövõime indikaatoriks on soorituse kestus kurnatuse saabumiseni, võrreldes testidega, kus töövõimet hinnatakse näiteks kindla distantssi läbimiseks kuluva aja alusel. Tüüpiline kofeiini manustamise ajastus on varasemates uuringutes olnud 60 minutit enne töövõime testi algust (Doherty ja Smith, 2004; Tarnopolsky, 1994). Seega, käesolevas uuringus noortele naistele manustatud kofeiini doos, selle manustamise ajastus ja vastupidavusliku töövõime testimise viis olid kõik teadlikult valitud nii, et soodustada kofeiini võimaliku positiivse efekti esiletulekut. Niisugust efekti kofeiinil meie vaatlusaluste puhul siiski ei ilmnenu.

Kofeiini mõju töövõimele kõrge temperatuuriga keskkonnas on varem väga vähe uuritud (Cheuvront jt, 2009; Cohen jt, 1996; Cureton jt, 2007; Del Coso jt, 2008; Ganio jt, 2011; Roelands jt, 2011) ja senised andmed on vastuolulised. Jättes kõrvale Del Coso jt (2008), kelle vaatlusalusteks olid aklimatiseerunud sportlased ning Cureton jt (2007), kes uurisid mitte puhta kofeiini vaid, kofeiini sisaldava spordijoogi mõju treenitud jalgratturitel, on kofeiini positiivset efekti vastupidavuslikule töövõimele kõrge temperatuuriga keskkonnas seni õnnestunud demonstreerida vaid ühel uurijate grupil (Ganio jt, 2011). Ülejäänud kolme töö (Cheuvront jt, 2009; Cohen jt, 1996; Roelands jt, 2011) andmed on üldiselt kooskõlas meie tulemustega ja näitavad, et niisugustes keskkonnatingimustes aklimatiseerumata inimestel kofeiini töövõimet parandav efekt puudub.

Valdavates enamuses asjakohastest uuringutest (Cheuvront jt, 2009; Cureton jt, 2007; Del Coso jt, 2008; Ganio jt, 2011; Roelands jt, 2011) on vaatlusaluste töövõimet testitud veloergomeetrial. Selles suhtes on käesoleva uuringuga kõige sarnasem Cohen'i jt (1996) töö, kus kofeiini manustamise efektiivsust töövõime suhtes hinnati looduslikes tingimustes (temperatuur 24-28°C, kõrge õhuniiskuse tase) sooritatud 21 km maanteejooksu testiga. Seega, mööndes küllaltki olulisi erinevusi temperatuuri ja õhuniiskuse osas, võib siiski tõdeda, et mõlemad seni teadaolevad uuringud, kus kehaline töö on seisnenud kõndimises või jooksmises, näitavad kofeiini ergogeense efekti puudumist kõrge temperatuuriga keskkonnas. Seejuures käesolev töö on üldse esimene, kus kofeiini potentsiaalset toimet kõrge temperatuuri tingimustes on uuritud naissoost vaatlusaluste grupil. Goldstein jt (2010) rõhutavad naiste kaasamise vajadust mistahes kofeiiniuuringutesse, kuna olemasolevad teadmised selle ühendi toime erinevatest külgedest põhinevad valdavalt meessoost vaatlusalustelt kogutud andmetel. Mis puutub kofeiini mõju uurimisse kõrge keskkonnatemperatuuri tingimustes, siis seni teadaolevalt on neis osalenud vaid 2 naissportlast 5 mehe kõrval Cohen'i jt (1996) uuringus.

Kuna kofeiin on võimeline sisenema nii närvi- kui ka lihasrakkudesse, siis on väga raske eristada, kas töövõimet parandav efekt tuleneb kesknärvisüsteemi- või lihaste tasandilt. Üks võimalik variant on, et kofeiini toimel intensiivistub lipolüüs rasvkoos, mis tõstab vabade rasvhapete kontsentratsiooni veres. Vabad rasvhapped on omakorda olulised energiaallikad tänu millele säästetakse glükogeeni varusid lihases (Graham, 2001; Tarnopolsky, 1994). Kuna need varud võetakse kasutusele hiljem, peaks vastupidavust nõudev sooritus pikenema. Kofeiini kesknärvisüsteemi tasandil toimimist kinnitab subjektiivselt tajutud pingutus- ja väsimusastme langus (Davis ja Green, 2009). Tänu kofeiini valuvaigistavale toimele (Goldstein, 2001) tundub kehaline pingutus kergemana, mistõttu suudab inimene kauem pingutada. Mitmed varasemad mõõduka temperatuuri juures läbi viidud uuringud on kinnitanud, et kofeiiniga väheneb uuritava subjektiivne hinnang tema poolt tajutud pingutusele ja väsimusele (Doherty ja Smith, 2005). Kõige tõenäolisemaks kofeiini toimemehhanismiks peetakse siiski adenosini retseptorite antagonismi (Fredholm jt, 1999). Samas ühest seletust, kuidas kofeiin kehalist töövõimet mõjutab, ei ole veel täpselt välja selgitatud, isegi mitte mõõduka temperatuuriga keskkonnas (Graham, 2001). Käesolevas uurimistöös kõrge temperatuuriga keskkonnas, ei vähendanud kofeiin subjektiivselt tajutud pingutus- ega väsimusastet sarnaselt enamusele samalaadsetele uuringutele (Cheuvront jt, 2009; Cohen jt, 1996; Ganio jt, 2011; Roelands jt, 2011). Samas ei pikenenud kofeiini toimel ka töö suutlikkuseni. Seega kofeiini toimemehhanism jääb antud kontekstis samuti selgusetuks.

Kehalise pingutuse korral kõrge temperatuuriga keskkonnas tekib konkurents lihaste ning nahaaluse koe ja naha verevarustuses. Selleks, et kuumastressi tingimustes soojust organismi süvapiirkonnast ära juhtida, peab suurenema naha verevarustus, mistõttu väheneb lihastesse jõudva vere hulk. Puudujäägi kompenseerimiseks suureneb südame löögisagedus. Ka kofeiin võib tõsta südame löögisagedust, kuna ta toimib sümpaatilise närvisüsteemi stimulaatorina ja intensiivistab katehhoolamiinide (adrenaliin, noradrenaliin) vabanemist verre (Sökmen jt, 2008). Nii kuumastress kui ka kofeiin tõstavad südame löögisagedust, mistõttu võiks oletada, et nende kahe kombinatsioon on eriti ohtlik. Käesolevas uuringus oli 10. minutiks südame löögisagedus oluliselt erinev lähtetasemest ja nii suutlikkuseni välja. Sarnaselt Cheuvront jt (2009) ning Roelands jt (2011) uuringuga ei leitud, et kofeiin oleks oluliselt suurendanud südame löögisagedust võrreldes platseeboga. Ganio jt (2011) võrdlesid kofeiini mõju vastupidavuslikule töövõimele nii 12°C kui ka 33°C juures. Kõrgema temperatuuri korral oli südame löögisagedus oluliselt kõrgem, aga kofeiinist tingitud muutuseid ei täheldanud ka nemad. Seega kuumastressist tingitud südame löögisageduse tõus oli arvatavasti tähtsam töövõime mõjutaja kui kofeiin. Huvitav on asjaolu, et mitmetes samalaadsetes uuringutes (Cohen jt, 1996; Cureton jt, 2007; Del Coso jt, 2008) ei ole südame löögisagedust üldse registreeritud, kuigi tegemist on olulise näitajaga töövõime hindamisel.

Kuna lihaste verevarustus kõrge temperatuuriga keskkonnas väheneb, siis langeb ka lihastesse jõudva hapniku hulk. Seetõttu muutuvad energiatootmises oluliselt tähtsamaks anaeroobsed protsessid, millega kaasneb laktaadi kontsentratsiooni tõus lihases ja veres, mis põhjustab väsimust ja töövõime langust (Nybo, 2008). Mitmed varasemad uuringud on leidnud, et kofeiini tarbimine suurendab samuti laktaadi kontsentratsiooni veres (Davis ja Green, 2009; Graham, 2001). Nendele teadmistele tuginedes tundub kofeiini manustamine töövõime parandamise eesmärgil kõrge temperatuuriga keskkonnas kasutuna või isegi sooritust pärssivana. Samas Ganio jt (2011) ei täheldanud kofeiinil ega kõrgemal temperatuuril olulist mõju vere laktaadi sisaldusele. Käesoleva uuringu nii kofeiini- kui ka platseebotestis tõusis laktaadi kontsentratsioon veres märgatavalt võrreldes lähtetasemega. Samas kofeiin põhjustas oluliselt ulatuslikuma tööpuhuse laktaadi kontsentratsiooni tõusu veres kui platseebo. Kofeiinist tingitud olulist erinevust täheldasid ka Cheuvront jt (2009), aga Cohen jt (1996) ega ka Roelands jt (2011) ei leidnud suurenenud laktaadi kontsentratsiooni ja kofeiini vahel seost. Kuna antud uuringus erinevusi töövõimes kofeiini ja platseebo korral ei täheldatud, siis järelikult kofeiini esile kutsutud laktaadi kontsentratsiooni tõus veres ei olnud niivõrd suur, et oleks oluliselt töövõimet pärssinud.

Keha süvatemperatuuri tõusu peetakse üheks oluliseks väsimuse tekitajaks kuumas kliimas (Hargreaves, 2008). Lisades sinna juurde veel kehalise tegevuse, on tõsiseid

stressitekitajaid kaks. Inimese normaalsest kehatemperatuurist kõrgem õhutemperatuur tekitab vajaduse liigest soojusest vabaneda ja kuumas kliimas on põhiliseks viisiks higistamine. Juhul kui liigest soojusest ei õnnestu vabaneda, suureneb organismi süvatemperatuur. Hüpertermia suurendab kesknärvisüsteemi väsimust, mille tõttu aeglustub motoorika ja töövõime langeb (Nybo, 2008). Kuna kofeiinile on sageli omistatud organismist vedelikku väljaviivat toimet (Burke, 2008), siis võib see kõrge temperatuuriga keskkonnas osutada veel üheks oluliseks stressitekitajaks. Dehüdratsiooni ja hüpertermia koosmõju peetakse peamiseks väsimust tekitavaks ja töövõimet langetavaks teguriks kõrge temperatuuriga keskkonnas (Hargreaves, 2008). Käesoleva uuringu andmetest ei leitud, et kofeiin oleks põhjustanud olulist keha süvatemperatuuri tõusu või intensiivistanud higistamist võrreldes platseeboga. Vastukaaluks leidsid Cheuvront jt (2009) ning Roelands jt (2011) oma uuringutes, et kofeiini manustamise korral oli vaatlusaluste süvatemperatuur märgatavalt kõrgem võrreldes platseeboga. Ära tuleb märkida, et Roelands'i jt (2011) uuringus oli RH 50–60%, mis oli oluliselt kõrgem kui käesolevas uuringus (RH 20%). Kõrgem RH takistab higi aurustumist keha pinnalt, mille tagajärjel on häiritud soojuse juhtimine väliskeskkonda. Seetõttu tõuseb keha süvatemperatuur, mis häirib organismi normaalset toimimist. Kõrge ümbritsev temperatuur ja kehaline tegevus tõstavad ka naha pinna temperatuuri. Ganio jt (2011) märkisid samuti, et kõrgema temperatuuriga keskkonnas oli nahatemperatuur oluliselt kõrgem kui 12°C juures. Kofeiin mingit efekti nahatemperatuurile võrreldes platseeboga ei avaldanud nagu selgus ka käesolevast uuringust.

Varasemate uuringute andmetel võib kofeiini akuutne manustamine suurendada vedeliku väljutamist organismist ja põhjustada dehüdratsiooni (Burke, 2008). Dehüdratsioon on üks peamisi faktoreid, mis kiirendab väsimuse tekkimist ja süvenemist kehalisel tööl kõrge temperatuuriga keskkonnas ja mis kontrollimatult süvenedes võib osutada eluohtlikuks (Wendt jt, 2007). Käesolevas uuringus langes vaatlusaluste kehamass töö ajal nii platseebo kui ka kofeiini manustamise korral olulisel määral. Kehamassi vähenemine vastupidavustööl on adekvaatne dehüdratsiooni ulatuse indikaator (Baker jt, 2009). Samas kehamassi vähenemine ja plasma mahu langus, aga ka töö ajal joodud vee kogus olid kofeiini- ja platseebouuringus ühetaolised. Seega on ilmne, et kofeiini töövõimet parandava toime puudumine ei saanud tuleneda ulatuslikumast dehüdratsioonist, mis võiks olla üheks oluliseks väsimust põhjustavaks teguriks ja varjata kofeiini ergogeenset efekti. Kofeiini dehüdratsiooni stimuleeriva efekti puudumist analoogilistes tingimustes kinnitavad ka teiste uurijate andmed (Cheuvront jt, 2009; Cohen jt, 1996; Ganio jt, 2011).

Kokkuvõttes näitavad käesoleva uuringu tulemused, et tööeelne kofeiini manustamine noorte aklimatiseerumata naiste vastupidavuslikku töövõimet kuivas kõrge temperatuuriga

keskkonnas ei paranda. Kofeiin ei mõjutanud naiste südame löögisagedust, naha- ega rektaaltemperatuuri, organismi veestaatust, pingutuse tajutavat raskusastet, väsimuse- ega temperatuuritaju, kuid kutsus esile ulatuslikuma laktaadi kontsentratsiooni tõusu veres töö ajal ja selle lõpus võrreldes platseeboga. Küsimus, miks kofeiini normaaltingimustes küllaltki selge ergogeenne efekt kõrge temperatuuriga keskkonnas ei pruugi avalduda, jääb seni olemasolevate andmete valguses ühese vastuseta. Käesolevas uuringus on kaks unikaalset aspekti. Esiteks, kofeiini kui toidulisandi efektiivsust vastupidavusliku töövõime mõjutajana kõrge temperatuuriga keskkonnas uuriti naistel. Teiseks, vaatlusaluste töövõimet hinnati liikuval jooksurajal sooritatud testi tulemuste alusel. Seega võib üheks oluliseks suunaks kofeiini toime edasiseks tundmaõppimiseks kõrge temperatuuri tingimustes pidada naiste ja meeste, erinevate kehaliste koormuste (kõnd-jooks vs jalgrattasõit) ning aklimatiseerumata ja aklimatiseerunud inimeste võrdlevaid uuringuid.

6. JÄRELDUSED

1. Kofeiini tööeelne manustamine võrreldes platseeboga ei paranda noorte aklimatiseerumata naiste vastupidavuslikku töövõimet kõrge temperatuuriga kuivas keskkonnas.
2. Kofeiin ei mõjuta südame löögisagedust, organismi veestaatust, naha- ega rektaaltemperatuuri.
3. Kofeiin võrreldes platseeboga kutsub esile ulatuslikuma tööpuhuse laktaadi kontsentratsiooni tõusu veres.
4. Kofeiin ei mõjuta pingutuse subjektiivselt tajutavat raskusastet, väsimuse- ega temperatuuritaju.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Astorino TA, Roberson DW. Efficacy of acute caffeine ingestion for short-term high-intensity exercise performance: a systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2010; 24 (1): 257–265
2. Astorino TA, Cottrell T, Lozano AT, Aburto-Pratt K, Duhon J. Increases in cycling performance in response to caffeine ingestion are repeatable. *Nutrition Research* 2012a; 32: 78–84
3. Astorino TA, Cottrell T, Lozano AT, Aburto-Pratt K, Duhon J. Effect of caffeine on RPE and perceptions of pain, arousal, and pleasure/displeasure during a cycling time trial in endurance trained and active men. *Physiology & Behavior* 2012b; 106: 211–217
4. Baker LB, Lang JA, Kenney WL. Change in body mass accurately and reliably predicts change in body water after endurance exercise. *European Journal of Applied Physiology* 2009; 105: 959–967
5. Bech BH, Nohr EA, Vaeth M, Henriksen TB, Olsen J. Coffee and fetal death: A cohort study with prospective data. *American Journal of Epidemiology* 2005; 162: 983–990
6. Bell DG, McLellan TM. Exercise endurance 1, 3 and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. *Journal of Applied Physiology* 2002; 93: 1227–1234
7. Borg GAV. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 1982; 14: 377–381
8. Bramstedt KA. Caffeine use by children: the quest for enhancement. *Substance Use & Misuse* 2007; 42:1237–1251
9. BSI (2001) BS EN ISO 10551. Ergonomics of the thermal environment-assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. *British Standards Institution*. London
10. Burke LM. Caffeine and sports performance. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 2008; 33: 1319–1334.
11. Chevront SN, Ely BR, Kenefick RW, Michniak-Kohn BB, Rood JC, Sawka MN. No effect of nutritional adenosine receptor antagonists on exercise performance in the heat. *American Journal of Physiology- Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 2009; 296: R394–R401
12. Chin JM, Merves ML, Goldberger BA, Sampson-Cone A, Cone EJ. Caffeine content in brewed teas. *Journal of Analytical Toxicology* 2008; 32: 702–704

13. Cohen BS, Nelson AG, Prevost MC, Thompson GD, Marx BD, Morris GS. Effects of caffeine ingestion on endurance racing in heat and humidity. *European Journal of Applied Physiology* 1996; 73: 358–363
14. Collomp K, Ahmaidi S, Chatard JC, Audran M, Prefaut C. Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. *European Journal of Applied Physiology* 1992; 64: 377–380
15. Cureton KJ, Warren GL, Millard-Stafford ML, Wingo JE, Trilk J, Buyckx M. Caffeinated sports drink: ergogenic effects and possible mechanisms. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2007; 17: 35–55
16. Davis JK, Green JM. Caffeine and anaerobic performance: ergogenic value and mechanisms of action. *Sports Medicine* 2009; 39 (10): 813–832
17. Davis JA. Direct determination of aerobic power. In: Maud PJ, Foster C, eds. *Physiological Assessment of Human Fitness*. 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2006, 9–18
18. Del Coso J, Estevez E, Mora-Rodriguez. Caffeine effects on short-term performance during prolonged exercise in the heat. *Physical Fitness and Performance* 2008; 40 (4): 744–751
19. Del Coso J, Muñoz G, Muñoz-Guerra J. Prevalence of caffeine use in elite athletes following its removal from the World Anti-Doping Agency list of banned substances. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 2011; 36: 555–561
20. Del Coso J, Salinero JJ, González-Millán C, Abián-Vicén J, Pérez-González B. Dose response effects of a caffeine-containing energy drink on muscle performance: a repeated measures design. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2012; 9:21
21. Dill DB, Costill DL. Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma and red cells in dehydration. *Journal of Applied Physiology* 1974; 37: 247–248
22. Doherty M, Smith PM. Effects of caffeine ingestion on exercise testing: a meta-analysis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2004; 14: 626–646
23. Doherty M, Smith PM. Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2005; 15: 69–78
24. Farhadi H, Hadi H. Effect of different dosages caffeine gum ingestion on mid-endurance performance. *Annals of Biological Research* 2011; 2 (6): 681–686

25. Fredholm BB, Bättig K, Holmen J, Nehlig A, Zvartau EE. Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. *Pharmacological Reviews* 1999; 51 (1): 83–133
26. Ganio MS, Johnson EC, Klau JF, Anderson JM, Casa DJ, Maresh CM, Volek JS, Armstrong LE. Effect of ambient temperature on caffeine ergogenicity during endurance exercise. *European Journal of Applied Physiology* 2011; 111:1135–1146
27. George AJ. Central nervous system stimulants. In: Mottram DR, eds. *Drugs in Sport*. 3rd ed. London: Routledge; 2003, 63–101
28. Goldstein ER, Ziegenfuss T, Kalman D, Kreider R, Campbell B, Wilborn C, Taylor L, Willoughby D, Stout J, Graves BS, Wildman R, Ivy JL, Spano M, Smith AE, Antonio J. International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2010; 7:5
29. Goldstein J. Caffeine as an analgesic adjuvant. *Inflammopharmacology* 2001; 9 (1,2): 51–61
30. Graham TE, Spriet LL. Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology* 1991; 71: 2292–2298
31. Graham TE, Spriet LL. Metabolic, catecholamine, and exercise performance responses to various doses of caffeine. *Journal of Applied Physiology* 1995; 78: 867–874.
32. Graham TE, Hibbert E, Sathasivam P. Metabolic and exercise endurance of coffee and caffeine ingestion. *Journal of Applied Physiology* 1998; 85:883–889
33. Graham TE. Caffeine and exercise: Metabolism, endurance and performance. *Sports Medicine* 2001; 31 (11): 785–807
34. Green JM, Wickwire PJ, McLester JP, Gendle S, Hudson G, Pritchett RC, Laurent CM. Effects of caffeine on repetitions to failure and ratings of perceived exertion during resistance training. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2007; 2: 250–259
35. Greer F, McLean C, Graham TE. Caffeine, performance, and metabolism during repeated Wingate exercise tests. *Journal of Applied Physiology* 1998; 85: 1502–1508
36. Hargreaves M. Physiological limits to exercise performance in the heat. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2008; 11: 66–71
37. Higdon JV, Frei B. Coffee and health: A review of recent human research. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2006; 46: 101–123
38. Hogervorst E, Bandelow S, Schmitt J, Jentjens R, Oliveira M, Allgrove J, Carter T, Gleeson M. Caffeine improves physical and cognitive performance during exhaustive exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2008; 40 (10): 1841–1851

39. McCusker RR, Goldberger BA, Cone EJ. Caffeine content of specialty coffees. *Journal of Analytical Toxicology* 2003; 27: 520–522
40. McLellan, Kamimori GH, Voss DM, Tate C, Smith SJR. Caffeine effects on physical and cognitive performance during sustained operations. *Aviat, Space, and Environmental Medicine* 2007; 78 (9): 871–877
41. McLellan, Kamimori GH, Voss DM, Bell DG, Cole KG, Johnson D. Caffeine maintains vigilance and improves run times during night operations for special forces. *Aviat, Space, and Environmental Medicine* 2005; 76 (7): 647–654
42. Nybo L. Hyperthermia and fatigue. *Journal of Applied Physiology* 2008; 104: 871–878
43. Pasma WJ, van Baak MA, Jeukendrup AE, de Haan A. The effect of different dosages of caffeine on endurance performance time. *International Journal of Sports Medicine* 1995; 16 (4): 225–230
44. Ramanathan NL. A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *Journal of Applied Physiology* 1964; 19: 531–533
45. Roelands B, Buyse L, Pauwels F, Delbeke F, Deventer K, Meeusen R. No effect of caffeine on exercise performance in high ambient temperature. *European Journal of Applied Physiology* 2011; 111 (12): 3089–3095
46. Ross GW, Abbott RD, Petrovitch H, Morens DM, Grandinetti A, Tung KH, Tanner CM, Masaki KH, Blanchette PL, Curb JD, Popper JS, White LR. Association of coffee and caffeine intake with the risk of Parkinson disease. *Journal of American Medical Association* 2000; 283 (20): 2674–2679
47. Sökmen B, Armstrong LE, Kraemer WJ, Casa DJ, Dias JC, Judelson A, Maresh CM. Caffeine use in sports: considerations for the athlete. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2008; 22 (3): 978–986
48. Tarnopolsky MA. Caffeine and endurance performance. *Sports Medicine* 1994; 18 (2): 109–125
49. Temple JL. Caffeine use in children: what we know, what we have left to learn, and why we should worry. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 2009; 33 (6): 793–806
50. Tverdal A, Skurtveit S. Coffee intake and mortality from liver cirrhosis. *Annals of Epidemiology* 2003; 13 (6): 419–423
51. Van Dam RM, Hu FB. Coffee Consumption and risk of type 2 diabetes: a systematic review. *Journal of American Medical Association* 2005; 294 (1): 97–104
52. WADA (World Anti-Doping Agency). The World Anti-Doping Code. The 2012 Prohibited List. International Standard, 2011.

http://www.wada-ama.org/Documents/World_Anti-Doping_Program/WADP-Prohibited-list/2012/WADA_Prohibited_List_2012_EN.pdf, 14.06.2012

53. Warren GL, Park ND, Maresca RD, McKibans KI, Millard-Stafford ML. Effect of caffeine ingestion on muscular strength and endurance: a meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2010; 42 (7): 1375–1387
54. Wendt D, van Loon LJC, van Marken Lichtenbelt WD. Thermoregulation during exercise in the heat. *Sports Medicine* 2007; 37 (8): 669–682
55. Wiles JD, Bird SR, Riley M. Effect of caffeinated coffee on running speed, respiratory factors, blood lactate and perceived exertion during 1500-m treadmill running. *British Journal of Sports Medicine* 1992; 26: 116–120
56. Woolf K, Bidwell WK, Carlson AG. The effect of caffeine as an ergogenic aid in anaerobic exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2008; 18: 412–429
57. Woolf K, Bidwell WK, Carlson AG. Effect of caffeine as an ergogenic aid during anaerobic exercise performance in caffeine naive collegiate football players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2009; 23 (5): 1363–1369

SUMMARY

The effects of acute caffeine ingestion on endurance capacity in a hot-dry environment

The purpose of the present study was to assess the effect of administration of caffeine on the endurance capacity in a hot-dry environment. The study protocol was approved by the Research Ethics Committee of the University of Tartu.

A group of ten physically active female subjects agreed to participate in the study. Their age, body mass, height and maximal oxygen uptake were the following: 22.5 ± 2.0 years, 167.3 ± 5.2 cm, 61.01 ± 5.42 kg and 45.6 ± 4.0 ml/kg/min. Two exercise tests (walk at 60% VO_2max) were completed on a treadmill in a hot-dry environment (42°C , 20% RH) until exhaustion. The subjects ingested either encapsulated caffeine (4 mg/kg) or placebo (glucose) 60 min prior to exercise in a randomly assigned double-blind crossover manner. Immediately before the test, an additional 2 mg/kg caffeine or placebo was administered. Throughout exercise, the subjects ingested water *ad libitum*. Heart rate, skin and core temperature were measured. Capillary blood samples were analyzed for lactate, haemoglobin and haematocrit before, during and immediately after the tests. Ratings of perceived exertion, perceived fatigue and thermal sensation were recorded at 10 min intervals throughout the tests. The significance level was set at $p < 0.05$.

The results of the study showed that administration of caffeine did not improve endurance capacity in a hot-dry environment ($p = 0.063$). There were no between treatment differences in heart rate, skin and core temperature. Caffeine significantly ($p < 0.05$) increased blood lactate concentration compared to placebo and was significantly different from baseline. No between treatment differences were found in the ratings of perceived exertion, perceived fatigue and thermal sensation.