

BEETA-ALANIININ VAIKUTUS 600 METRIN JUOKSUAIKAAN

Janne Hautala

Valmennus- ja testausoppi

Kandidaatintutkielma

VTEA006

Kevät 2016

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työnohjaaja: Antti Mero

TIIVISTELMÄ

Janne Hautala (2016). Beeta-alaniinin vaikutus 600 metrin juoksu-aikaan. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Kandidaatintutkielma, 36 s.

Johdanto. Anaerobisessa maksimaalisessa suorituksessa (30 – 90 sekuntia) energia tuotetaan pääasiallisesti anaerobisen glykolyysin kautta, jonka haitallisina aineenvaihduntatuotteina syntyy laktaatti- ja vetyioneja. Näistä kahdesta vetyioni laskee veren pH-arvoa happamampaan suuntaan heikentäen lihassupistusta. Lihaksen ja veren happamuuden puskurointia voidaan parantaa muun muassa erilaisia lisäravinteita käyttämällä. Beeta-alaniinin on havaittu lisäävän solun sisäisen karnosiinin määrää. Karnosiini puskuroi solun sisällä happamuutta aiheuttavia vetyioneja lisäten anaerobista suorituskykyä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää onko lyhyellä beeta-alaniinin käyttökajaksolla vaikutusta 600 metrin juoksu-aikaan.

Menetelmät. Tutkimukseen osallistui yhteensä kuusi kansallisen tason miespuolista 800 metrin kilpajuoksijaa (ikä $25,9 \pm 2,6$ vuotta). Koehenkilöiden 800 metrin ennätyksien keskiarvo oli 1 min $56,76 \text{ s} \pm 3,5 \text{ s}$. Jokainen koehenkilö suoritti kaksi kertaa 600 metrin testijuoksun kolmen vuorokauden beeta-alaniini- ($8,2 \text{ g/vrk}$) ja plasebotankkauksella. Kolme koehenkilöä juoksi ensimmäisessä testijuoksussa plasebotankkauksella ja toiset kolme koehenkilöä beeta-alaniinitankkauksella. Toisessa testijuoksussa osat vaihtuivat. Ennen käyttökajaksien alkua ja käyttökajaksien jälkeen koehenkilöiltä otettiin paastoverinäyte aamulla pientä verenkuvaa varten. Pieni verenkuvaa otettiin myös 3 ja 60 minuuttia testijuoksujen päättymisen jälkeen. Verikaasut ja laktaatinäytteet analysoitiin ennen testijuoksua, 3, 6, 10 ja 60 minuuttia testijuoksujen loppumisen jälkeen sormenpäästä otetuista verinäytteistä. Verikaasut otettiin myös molemmissa paastonäytteissä. Testosteronin ja kortisolin pitoisuudet mitattiin ennen testijuoksujen alkua sekä 3 ja 60 minuuttia testijuoksujen loppumisen jälkeen kyynärlaskimosta otetuista verinäytteistä.

Tulokset. 600 metrin juoksuajat parantuivat hieman $0,20 \pm 1,14 \text{ s}$ (ns.) beeta-alaniinijuoksuilla verrattuna plasebojuoksuihin. Veren laktaatti- ja pH-arvoissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Natriumarvoissa PRE- näyte (ennen testijuoksua) oli tilastollisesti erilainen ($p < 0,05$). Plaseboryhmän keskiarvo ja keskihajonta oli kyseisessä näytteessä $139 \pm 2 \text{ nmol/l}$, kun taas beeta-alaniiniryhmällä vastaavat arvot olivat $141 \pm 2 \text{ nmol/l}$. Kaliumarvoissa ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä. Testosteroniarvoissa POST3'-näyte (kolme minuuttia juoksun loppumisen jälkeen) lähestyi tilastollisesti merkitsevää ($p=0,071$). Plaseboryhmän tulos oli $18,5 \pm 5,4 \text{ nmol/l}$, kun taas beeta-alaniiniryhmän $14,9 \pm 3,8 \text{ nmol/l}$. Kortisoliarvoissa ja testosteroni-kortisolisuhteessa ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä muutoksia ryhmien välillä.

Johtopäätökset. Suurehkolla ($8,2 \text{ g/vrk}$) kolmen vuorokauden aikana nautitulla beeta-alaniinin määrällä ei ollut vaikutuksia 600 metrin juoksun loppu-aikaan kansallisen tason 800 metrin miesjuoksijoilla.

Avainsanat: beeta-alaniini, puskurointi, anaerobinen suorituskyky, hormonitasapaino

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	
1 JOHDANTO	1
2 KIRJALLISUUSKATSAUS	2
2.1 Happo-emästasapainon säätely	2
2.1.1 Happo-emästasapainon säätelymekanismit	2
2.1.2 Bikarbonaattipuskurijärjestelmä	3
2.1.3 Fosfaattipuskurijärjestelmä	4
2.1.4 Solunsisäinen puskurijärjestelmä	5
2.1.5 Keuhkotuuletus ja munuaiset	6
2.2 Anaerobinen glykolyysi ja 600 metrin juoksusuoritus	7
2.2.1 Anaerobinen glykolyysi	7
2.2.2 600 metrin juoksun fysiologia	8
2.3 Beeta-alaniini ja karnosiini	9
2.3.1 Beeta-alaniinin vaikutukset karnosiinipitoisuuteen	10
2.3.2 Karnosiinin poistuminen elimistöstä	11
2.3.3 Beeta-alaniinin vaikutukset suorituskykyyn	11
2.3.4 Beeta-alaniinin haittavaikutukset	13
2.4 Beeta-alaniini ja hormonitasapaino: testosteroni ja kortisoli	13
3 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT	15
4 TUTKIMUSMENETELMÄT	17
4.1 Koehenkilöt	17
4.2 Koeasetelma	17
4.3 Aineiston keräys ja analysointi	17
4.4 Tilastollinen käsittely	19
5 TULOKSET	20
5.1 Juoksuajat	20
5.2 Veren laktaatti ja pH	21
5.3 Veren natrium	23
5.4 Veren kalium	24
5.5 Testosteroni ja kortisoli	25
5.5.1 Testosteroni	25
5.5.2 Kortisoli	26

5.5.3 Testosteroni-kortisolisuhte	27
5.5.4 Pieni verenkuvat	28
6 POHDINTA	29
7 LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

Maksimaalisessa 30–90 sekuntia kestävässä suorituksessa energiaa tuotetaan pääasiallisesti anaerobisen glykolyysin kautta. Glykolyysissä palorypälehappo hajoaa maitohapoksi ja siitä edelleen laktaatti- ja vetyioneiksi. (McArdle ym. 2010, s147-148.) Näistä jälkimmäinen järkyttää happo-emästasapainoa laskemalla lihaksen ja veren pH-arvoa vaikuttaen heikentävästi lihassupistukseen (McArdle ym. 2010, s300-302). Happo-emästasapainon säätelyyn osallistuu kolme eri mekanismia, jotka käynnistyvät hieman eri aikaan. Nopeinten käynnistyvät veren kemialliset puskurit, jotka puskuroivat happamuutta sitomalla itseensä vetyioneja. Toiseksi nopeinten reagoi hengityskeskus, joka säätelee happo-emästasapainoa poistamalla hiilidioksidia elimistöstä. Kaikkein hitaimmin käynnistyvät munuaiset, jotka poistavat happamuutta säätelemällä virtsan erityistä. (McArdle ym. 2010, s.301-302.)

Lihaksen ja veren happamuuteen voidaan vaikuttaa positiivisesti nauttimalla muun muassa eri ruoka-aineita. Esimerkiksi lihaa nauttimalla voidaan lisätä solunsisäisen puskurin karnosiinin määrää (Park ym. 2005). Karnosiini muodostuu elimistössä beeta-alaniinista ja histidiinistä. Näistä ensimmäisen eli beeta-alaniinin on havaittu olevan rajoittava tekijä karnosiinin muodostumisessa. Beeta-alaniinilisän vaikutusta puskurointikykyyn on alettu tutkimaan laajemmin vasta 2000 -luvun puolella enimmäkseen ei-urheilijoilla. Sen sijaan hyvätasoisilla urheilijoilla ja erityisesti kilpajuoksijoilla tutkimuksia ei ole tehty.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää lyhyen beeta-alaniinin käyttöjakson vaikutusta 600 metrin suorituskykyyn kansallisen tason 800 metrin mieskilpajuoksijoilla. Testimatkasi valittiin 600 metriä siksi, että siihen on psykologisesti helpompi valmistautua yksin juostuna verrattuna 800 metrin juoksuun. Beeta-alaniinilisän on havaittu lisäävän solunsisäisen karnosiinin määrää (Baguet ym. 2009, Derawe ym. 2007, Hill ym. 2007, Stellingwerff ym. 2012) ja myös vaikuttavan positiivisesti yli minuutin kestoisiin maksimaalisiin suorituksiin (Hobson ym. 2013, Ducker ym. 2013). Lyhyen beeta-alaniinin käyttöjakson vaikutuksia ei ole kuitenkaan tutkittu aikaisemmin.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Happo-emästasyyapainon säätely

Happo-emästasyyapainon säätely perustuu H⁺ eli vetyionien säätelyyn. Kovassa anaerobisessa suorituksessa haitallisina aineenvaihduntatuotteina syntyy laktaatti- ja vetyioneja, joista jälkimmäiset aiheuttavat happamuutta elimistössä heikentäen lihassupistusta ja voimantuotto-ominaisuuksia. Happo-emästasyyapainon säätelymekanismit perustavatkin vetyionikonsentraation tasyapainon ylläpitämiseen, jotta koko elimistö pysyisi homeostaasissa eli tasyapainossa. (Guyton & Hall, 2006, 383.) Levossa veren pH-luku on arviolta 7,43, kun taas kovassa suorituksessa se voi laskea lukemaan 6,8–6,9. Lihaksessa pH-luku voi laskea jopa arvoon 6,4. (McArdle ym.2010, 302.) Tällaisen happamuuden muutoksien säätelyyn osallistuvat munuaiset, jolla on suuri rooli happo-emästasyyapainon säätelyssä. Munuaisten lisäksi on olemassa myös muita puskurointimekanismeja kuten kehon kemialliset nesteet (bikarbonaatti- ja fosfaatti-ionit) ja hengityskeskus, jotka molemmat säätelävät vetyionikonsentraatiota solunsisäisessä ja ulkoisessa nesteessä. (Guyton & Hall, 2006, 383.)

Hapot ja emäkset eroavat toisistaan toimintatavoiltaan. Molekyylejä, jotka luovuttavat vetyionin kutsutaan hapoiksi. Hyvä esimerkki tästä on suolahappo (HCl), joka ionisoituu veden kanssa muodostaen vetyioneja (H⁺) ja kloridi-ioneja (Cl⁻). Emäs vastaavasti on molekyyli, joka sitoo itseensä vetyioneja. Esimerkiksi bikarbonaatti (HCO₃⁻) on emäs, joka sitoessaan vetyionin muodostaa H₂PO₄:sta. Myös kehon eri proteiinit, kuten hemoglobiini, pystyvät muodostamaan emäksiä. (Guyton & Hall, 2006, 383-384.)

2.1.1 Happo-emästasyyapainon säätelymekanismit

On olemassa kolme eri systeemiä, jotka säätelävät happo-emästasyyapainoa eli vetyionikonsentraatiota solunulkoisessa ja sisäisessä nesteessä: 1) Kehon nesteiden kemikaalien happoemäspuskurointi, kuten bikarbonaatti- ja fosfaatti-ionit estävät suuret muutokset vetyionikonsentraatiossa sitomalla itseensä hapon tai emäksen ja 2) hengityskeskus, joka säätelää hiilidioksidin poistumista elimistöstä ja 3) munuaiset, jotka taas säätelävät happamuutta erittämällä emäksistä tai hapanta virtsaa. (Guyton & Hall, 2006, 384.)

Elimistön puskurointijärjestelmä jakautuu siis kolmeen eri systeemiin, jotka käynnistyvät hieman eri aikaan. Nopein näistä puskurointisysteemeistä ovat selvästi kemialliset puskurit

kehon nesteissä, jotka reagoivat hetkessä vetyionikonsentraation muutoksiin. Vastaavasti taas hengityskeskus reagoi happo-emästasapainon muutoksiin muutamissa minuuteissa poistaen hiilidioksidin kehosta. Nämä kaksi puskurointijärjestelmää pitävät vetyionikonsentraation mahdollisimman muuttumattomana, kunnes hieman hitaammin käynnistyvä munuainen ehtii poistamaan liiallisen happamuuden tai emäksisyyden pois elimistöstä. (Guyton & Hall, 2006, 384.)

2.1.2 Bikarbonaattipuskurijärjestelmä

Puskuriksi sanotaan ainetta, joka kykenee sitomaan vetyioneja tehokkaasti. Kemialliset puskurit kehon nesteissä reagoivat nopeiten pH:n muutoksiin ja ne ovatkin yksi kehon tärkeimmistä puskurijärjestelmistä. Bikarbonaattipuskurisysteemin liuos koostuu hiilihaposta (H_2CO_3) ja natriumbikarbonaatista (NaHCO_3). Hiilihappo muodostuu kun vesi (H_2O) ja hiilidioksidi (CO_2) reagoivat toistensa kanssa. Reaktiossa on mukana karboanhydraasientsyymi, jota sijaitsee erityisesti keuhkorakkuloiden seinämissä. (Guyton & Hall, 2006, 385.) Puskuroinnin aikana vahva suolahappo (HCl) muuttuu huomattavasti heikommaksi hiilihapoksi yhdistymällä natriumbikarbonaatin kanssa (McArdle ym. 2010, 301). Reaktio tapahtuu seuraavasti: $\text{HCl} + \text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$. (McArdle ym. 2010, 301.)

Asidoosissa eli elimistön happamoitumisessa bikarbonaatti (HCO_3^-) sitoo itseensä vetyionin. Reaktiossa muodostuu hiilihappoa, joka hajoaa vedeksi ja hiilidioksidiksi. Lisääntynyt hiilidioksidin tuotto lisää keuhkotuuletusta, jolloin hiilidioksidi poistetaan keuhkojen kautta elimistöstä. (McArdle ym. 2010, 301.)

Asidoosin reaktiot: $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$

Tilanne on päinvastainen kun H^+ - ionikonsentraatio lähtee laskuun, jolloin myös ventilaatio vähenee. Tällä tavoin elimistö jollain tavoin säilyttää hiilidioksidia, joka yhdistyy veden kanssa muodostaen hiilihappoa ja siten normalisoi veren happamuutta. Tätä kutsutaan alkaloosiksi. (McArdle ym. 2010, s301.)

Alkaloosin reaktiot: $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$

Natriumbikarbonaattilisää nauttimalla voidaan lisätä bikarbonaatti-ionien konsentraatiota veressä huomattavasti ja tällä tavoin lisäämällä puskurointikykyä ja anaerobista suorituskykyä (Mero ym. 2013, Hobson ym. 2013).

2.1.3 Fosfaattipuskurijärjestelmä

Bikarbonaattipuskurijärjestelmä on veren kemiallisista puskureista tärkein, mutta myös fosfaattipuskurijärjestelmällä on tärkeä rooli munuaistiehyeissä ja solunsisäisissä nesteissä. Fosfaattipuskurijärjestelmän kaksi tärkeintä komponenttia ovat fosforihappo (H_2PO_4^-), sekä fosfaatti-ioni (HPO_4^{2-}). Kun näitä kahta komponenttia sisältävään sekoitukseen lisätään vahva suolahappo, vastaanottaa fosfaatti-ioni vedyn muodostaen fosforihapon. (Guyton & Hall 2006, 387.)

Kyseisen reaktion ansiosta pH:n laskua hillitään, kun suolahappo korvataan heikolla hapolla Natriumdivetyfosfaatilla (NaH_2PO_4). Jos taas vahva emäs, kuten natriumhydroksidi (NaOH) lisätään puskurointisysteemiin, hydroksyyli-ryhmä eli OH^- puskuroidaan H_2PO_4^- :lla, jolloin muodostuu $\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$:ta. Tässä tapauksessa natriumhydroksidi vaihdetaan heikon natriumdivetyfosfaatin kanssa, jolloin pH-luku nousee vain hieman. (Guyton & Hall, 2006, 387)

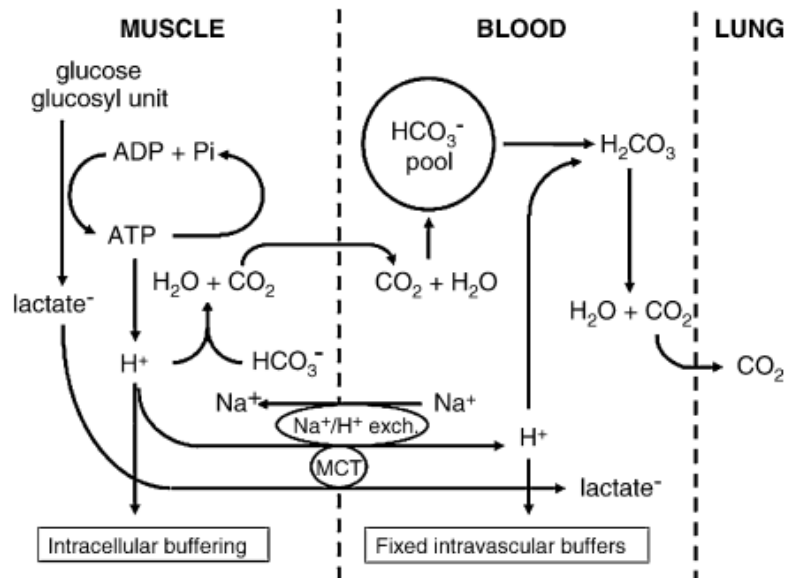
Fosfaattipuskuroinnin reaktiot: $\text{NaOH} + \text{NaH}_2\text{PO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

Fosfaattipuskureita löytyy elimistön solunulkoisista nesteistä vain noin 8 % bikarbonaattipuskureihin verrattuna. Kuitenkin munuaisten tubuluksissa fosfaattipuskurijärjestelmän rooli korostuu johtuen kahdesta syystä. Ensimmäiseksi fosfaattikonsentraatio kasvaa tubuluksissa huomattavasti siten lisäten puskurointitehoa ja toiseksi pH-luku tubuluksissa on useimmiten matalampi kuin solunulkoisessa nesteessä ollen näin lähempänä omaa optimaalista pKa-arvoaan (6,8), joka on kohtuullisen lähellä kehon nesteiden normaalia pH-arvoa (7,4). Ja mitä lähempänä pKa-arvo on normaaliarvoa sitä tehokkaammin se toimii. (Guyton & Hall, 2006, 387).

2.1.4 Solunsisäinen puskurijärjestelmä

Kuitenkin lukumäärältään suurin puskuri veressä on proteiinipuskuri. Korkean konsentraationsa ansiosta takia niiden rooli puskurina on suuri varsinkin solunsisäisessä nesteessä. Noin 60–70 % kaikista kehon nesteiden kemiallisista puskureista sijaitsee solun sisällä proteiinien muodossa. (Guyton & Hall, 2006, 387). Plasman proteiineista punasolun hemoglobiini on yksi tärkeimpiä elimistön puskureita, koska se sitoo itseensä vetyioneja. Hemoglobiinin teho voi olla jopa kuusinkertainen verrattuna muihin plasman proteiineihin. Kun hemoglobiini luovuttaa soluille hapen lisääntyy sen kyky sitoa vetyioneja, jopa paremmin verrattuna oksihemoglobiiniin. (McArdle ym. 2010, 301.).

Solunsisäisestä puskuroinnista vastaavat pääasiassa bikarbonaatti-ionit ja eri proteiinit, kuten karnosiini. Karnosiini pystyy sitomaan ja luovuttamaan vetyioneja tehokkaasti ja sen osuus solunsisäisessä puskuroinnissa vaihtelee kirjallisuuden mukaan 7-40 % (Davey ym. 1962, Tallon ym. 2005, Mannion ym. 1992). Tärkeässä roolissa on myös Na^+/H^+ -pumpulla yhdessä NHE1- proteiinin kanssa (natrium-vetyionikuljettaja), jotka toimivat yhtenä solunsisäisen happamuuden puskuroinnin järjestelmänä. Kyseinen pumppu sijaitsee solukalvolla, jossa vetyioneja aiheuttava vetyioni vaihdetaan solunulkopuolella olevan natriumionin kanssa. NHE1- proteiini vastaa varsinaisesta vetyionin kuljetuksesta. (Slepkov & Fliegel 2002.) Bikarbonaattipuskurijärjestelmän avulla tapahtuva vetyionin kuljetus solun sisällä on hieman epäselvä, kuten on myös laktaatti/ H^+ -cotransportterin toiminta. (Juel 2000.) Kuvassa 1 on esitetty pääpiirteittäin vetyionien puskurointi solunsisäisessä nesteessä. Osa vetyioneista poistuu bikarbonaatti-ionien kautta, osa Na^+/H^+ lävitse tai yhdessä laktaatin kanssa MCT:n (monokarboksyylikuljettaja) kautta. On puskurointireitti mikä tahansa, laskee se veren pH-arvoa ja nostaa laktaattipitoisuutta. (Peronnet & Aguilaniu 2005.)



KUVA 1. H⁺-ionien kulku solunsisäisestä nesteestä vereen ja ulos elimistöstä (Peronnet & Aguilaniu 2005).

2.1.5 Keuhkotuuletus ja munuaiset

Keuhkotuuletuksella on myös erittäin tärkeä happo-emästasyytilän säätelijä. Vapaiden H⁺-ionien määrän lisääntyessä solunulkoisessa nesteessä ja plasmassa, lisääntyy samalla keuhkotuuletus. Tämä aiheuttaa hiilidioksidin osapaineen (PCO₂), laskun jolloin hiilidioksidi ”puhalletaan” pois verestä. (McArdle ym. 2010, s301.)

Puskurointi tapahtuu bikarbonaatti-ionien avulla. Bikarbonaatti sitoo vetyioneja itseensä muodostaen hiilihapon, joka hajoaa hiilidioksidiksi ja vedeksi poistuen elimistöstä keuhkojen kautta. Jos H⁺-konsentraatio veressä kasvaa ja happamuus laskee erittäin alhaiselle tasolle (7,4:stä 7,0:een), lisääntyy keuhkotuuletus jopa 4-5 kertaa normaalia suuremmaksi. Tämän ansiosta vetyionin sitoutuminen bikarbonaattiin lisääntyy ja hiilidioksidin poistuminen elimistöstä kasvaa. Ylimääräisen happamuuden kertyminen pyritään normalisoimaan negatiivisen feedbackin avulla: H⁺-ionien lisääntyminen stimuloi keuhkotuuletusta, joka taas laskee hiilidioksidin osapainetta (PCO₂) solunulkoisessa nesteessä laskien H⁺-ionikonsentraatiota kohti normaaliarvoja. (Guyton & Hall, 2010, 388-389.) Hyvänä esimerkkinä keuhkotuuletuksen tehokkuudesta on se, että esim. lepotilassa sen avulla voidaan veren pH:ta nostaa jopa 0,23 yksikköä arvosta 7,4:stä huomattavasti emäksisempään arvoon

7,63:een. Tällainen emäksisyyden lisääntyminen voi tapahtua, jos keuhkotuuletus on vain kaksinkertainen lepoarvoihin verrattuna. (McArdle ym. 2010, 301.)

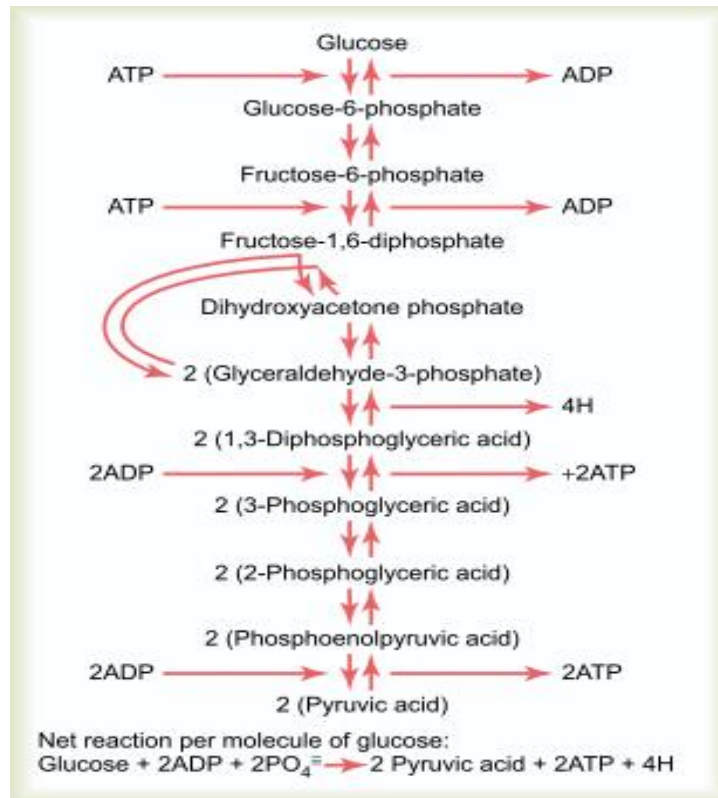
Munuaiset taas kontrolloivat happo-emästasapainoa erittämällä joko emäksistä tai hapanta virtsaa. Erittämällä hapanta virtsaa lasketaan solunulkoisen nesteen happamuutta, kun taas emäksistä virtsaa erittämällä vähennetään vastaavasti solunulkoisen nesteen emäksisyyttä. Munuaiset toimivat niin sanotusti linjaston kolmantena puskurimekanismina. Kyseinen mekanismi käynnistyy hitaasti, mutta se on kuitenkin tehokkain tapa säädellä elimistön happo-emästasapainoa. (Guyton & Hall 2006, 390.)

Happaman tai emäksisen virtsan erittäminen tapahtuu seuraavanlaisesti. HCO_3^- :sta suodatetaan jatkuvasti munaistiehyisiin ja matkan jatkuessa virtsaan poistuu emäksisyyttä verestä. Vastaavasti, jos suuri määrä H^+ -ioneja eritetään pois munaistiehyiden epiteelisoluista, vähentyy veren happamuus. Veren pH-luku määräytyy näiden kahden suhteesta toisiinsa eli jos H^+ -ioneja eritetään enemmän kuin HCO_3^- :sta suodatetaan, on veren happamuus pienempi. Luonnollisesti tilanne on päinvastainen, jos HCO_3^- :sta suodatetaan enemmän kuin H^+ -ioneja eritetään. (Guyton & Hall, 2006, 390.)

2.2 Anaerobinen glykolyysi ja 600 metrin juoksusuoritus

2.2.1 Anaerobinen glykolyysi

Juoksumatkoilla 200 – 800 metrin pääasiallinen energiantuottotapa on anaerobinen glykolyysi (Mero ym. 2007, s102). Kuvassa 2 on esitetty anaerobisen glykolyysin kemialliset reaktiot. Reaktioita on yhteensä 10, ja jokaiseen vaiheeseen osallistuu vähintään yksi erityisempi entsyymi. Glykolyysissä palorypälehappo hajoaa maitohapoksi ja siitä edelleen laktaatti- ja vetyioneiksi. Näistä jälkimmäinen eli vetyioni laskee veren sekä lihaksen pH-arvoa vaikuttaen lihassupistukseen heikentävästi. Laktaattia taas voidaan sanoa arvokkaaksi ”jätetuotteeksi”. Corin syklistä laktaatti joko poistetaan, tai käytetään uudelleen ATP:n uudelleenmuodostumisessa. (McArdle ym. 2010, 145-148.)



KUVA 2. Glykolyysin kemialliset reaktiot (Guyton & Hall, 2006, 833).

2.2.2 600 metrin juoksun fysiologia

600 metrin juoksumatka ei ole virallinen kilpailumatka. Kuitenkin 800 metrin kilpajuoksijat käyttävät sitä usein niin sanottuna testijuoksuna, sillä siihen on helpompi valmistautua psykologisesti verrattuna 800 m juoksuun. 600 metrin suomenennätys halliolosuhteissa on 1:16,93 (Mikko Lahtio) ja maailmanennätys on niinkin kova kun 1:12,81 (Johnny Gray) (tilastopaja.org).

Anaerobinen kapasiteetti on suoritusta rajoittava tekijä 30 – 90 sekunnin maksimaalisissa suorituksissa. Anaerobiseen kapasiteettiin vaikuttavat muun muassa glykolyysin energiantuottonopeus ja veren sekä lihasten kyky puskuroida happamuutta aiheuttavia vetyioneja. 400 metrin juoksumatkalla anaerobisen glykolyysin osuus on noin 62,5 % ja 800 metrin matkalla noin 50 %. Loput energiasta tuotetaan välittömistä energianlähteistä eli fosfokreatiinin (FK) ja aerobisen energiantuotannon kautta. (Mero ym. 2007, 101.) Välittömien energianlähteiden osuus on selvästi suurinta maksimaalisten suorituksien alussa (Schiffer 2008), jonka jälkeen anaerobinen glykolyysi hallitsee

energiantuottoaineenvaihduntaa. Aerobisen energiantuoton osuus 400 metrin juoksussa on kohtuullisen pieni, kun taas 800 metrin juoksussa sen osuus kasvaa. Taulukkoon 1 on koottu energiantuottoreittien suhteelliset osuudet 100 metrin juoksumatkasta aina 800 metrin juoksumatkaan asti. (Newsholme ym. 1992.) Kirjallisuudesta voidaan päätellä, että 600 metrin juoksussa anaerobisen glykolyysin osuus energiantuotannosta on noin 55-60 %. On kuitenkin selvää, että lihassolujakaumalla on paljon merkitystä siihen miten energiantuottosysteemit jakautuvat. Hitaat lihassolut (tyyppi 1) ovat enemmän oksidatiivisia ollen edullisia aerobisessa energiantuotossa, kun taas nopeat (tyyppi 2) ovat huomattavasti enemmän glykolyyttisiä, jotka ottavat osaa enemmän anaerobiseen energiantuottoon (Kenney ym. 2012, 40-41).

TAULUKKO 1. Energiantuottoreittien suhteelliset osuudet (%) eri juoksumatkoilla (Newsholme ym. 1992).

Matka	KP (%)	Anaerobinen (%)	Aerobinen (%)
100m	50	50	-
200m	25	65	10
400m	12,5	62,5	25
800m	6	50	44

2.3 Beeta-alaniini ja karnosiini

Beeta-alaniini on ei-välttämätön ja ainoa ravinnossa esiintyvä aminohappo, jonka aminoryhmä sijaitsee kahden hiilen karbonyyliryhmässä. Se muistuttaa huomattavasti L-alaniinia, jossa on kuitenkin vain yksi hiili välissä. Toisin kuin beeta-alaniinia, L-alaniinia käytetään proteiinisynteesissä. (Alaranta ym. 2007.) Karnosiinisyntetaasi-entsyymin avulla beeta-alaniinista muodostuu yhdessä L-histidiinin kanssa karnosiinia eli B-alanyyli-L-histidiiniä, joka toimii solunsisäisenä puskurina (Derawe ym. 2007). Ravinnosta karnosiinia saa muun muassa naudanlihasta, jossa sitä on 125 mg/100g (Park ym. 2005). Karnosiinipitoisuutta pystytään lisäämään lihansyönnin lisäksi myös beeta-alaniinilisää nauttimalla. Beeta-alaniinin on havaittu olevan rajoittava tekijä karnosiinin muodostuksessa

(Baguet ym. 2009.) Vastaavasti taas histidiidin ei ole havaittu nostavan karnosiiniarvoja (Dunnet & Harris 1995).

Karnosiini toimii niin sanottuna protonipuskurointimekanismina, joka reagoi solunsisäisen pH-luvun muutoksiin. Varsinainen puskurointi tapahtuu imidatsoliryhmän avulla, jossa on kaksi tehokkaasti vetyioneja vastaanottavaa tyyppiä. (Abe H. 2000.) Karnosiinin pKa-arvo on 6,83, joka on erittäin lähellä neutraalia pH-arvoa lihassoluissa. Tämä mahdollistaa tehokkaan vetyionien puskuroinnin ja sitä kautta happamuuden vähentämisen solun sisällä. Vastaavasti vapaan histidiinin pKa-arvo on 5,83, joten se ei ole yksinään hyvä puskuri lihassolussa. (Hill ym. 2007.) Mannion ym. (1992) havaitsivat karnosiinin osuuden olevan lihaksen happamuuden puskuroinnissa noin 7 %. Tuoreimmassa tutkimuksessa taas on havaittu, että karnosiinin osuus lihaksen puskurikapasiteetista on jopa 20 % (Tallon ym. 2005). Karnosiinin osuus solunsisäisessä puskuroinnissa on siis vielä hieman epäselvä.

Solunsisäisen puskuroinnin lisäksi karnosiinilla on havaittu olevan myös muita tehtäviä elimistössä. Sen on havaittu toimivan muun muassa elimistön antioksidanttina (Alaranta ym. 2007). Karnosiini parantaa myös kalsiumkanavien herkkyyttä, jonka avulla se saattaa estää väsymysreaktiota suurta voimantuottoa vaativissa suorituksissa (Dutka & Lamb 2004).

2.3.1 Beeta-alaniinin vaikutukset karnosiinipitoisuuteen

Ihmisellä on karnosiinia keskimäärin 20 mmol/kg (Begum ym. 2005). Yksilöiden välillä saattaa kuitenkin olla suuriakin eroja sen määrässä. Karnosiiniarvot ovat huomattavasti suurempia glykolyttisissä lihaksissa verrattuna oksidatiivisiin lihaksiin (Dunnet & Harris 1997). Harris ym. (1998) havaitsivat lihaksissa karnosiinipitoisuuden olevan ulomman reisilihaksen hitaissa lihassoluissa 10,5 mmol/kg ja nopeissa 23,2 mmol/kg.

Baguet ym. (2009) havaitsiva karnosiinipitoisuuksien nousevan soleuksessa eli leveässä kantalihaksessa 39 % ja gastrocnemiuksessa eli kaksoiskantalihaksessa 23 %. Tutkimuksessa koehenkilöt söivät beeta-alaniinilisää 5-6 viikon ajan 4,8 g päivässä. Samankaltaisia tuloksia löysivät myös Derawe ym. (2007), joiden tutkimuksessa koehenkilöt söivät BA-lisää 4,8g päivässä 4 viikon ajan. Karnosiiniarvot nousivat soleuksessa 47 % ja gastrocnemiuksessa 37 %. Hill ym. (2007) vastaavasti havaitsivat karnosiiniarvojen nousevan lähes 60 % nauttimalla beeta-alaniinilisää 4-6,4g päivässä. Vaikuttaa siltä, että karnosiinipitoisuus lisääntyy mitä

enemmän beeta-alaniinia nautitaan (Harris ym. 2006). Samankaltaisia tutkimustuloksia löysivät myös Stellingwerff ym. (2012), joiden tutkimuksessa kaksinkertainen määrä nautittua beeta-alaniinilisää nosti karnosiiniarvoja lähes tuplasti. Karnosiinipitoisuuksiin vaikuttavat myös vahvasti yksilölliset erot lihassolujakaumassa. On mahdollista, että konsentraatio kasvaa suhteellisesti enemmän hitaissa lihassoluissa verrattuna nopeisiin lihassoluihin (Alaranta ym. 2007).

2.3.2 Karnosiinin poistuminen elimistöstä

Baguet ym. (2009) tekivät tutkimuksen karnosiinin poistumisnopeudesta. Tutkimuksessa havaittiin karnosiiniarvojen putoavan 2-4 % viikossa. Yksilöiden välillä huuhtoutumisajassa oli kuitenkin suuria eroja. Baguet ym. (2009) havaitsivat, että on olemassa niin sanottuja ”high respondeita” ja ”low respondeita”. Näistä ensimmäisillä eli ”high respondeilla” karnosiiniarvot nousivat beeta-alaniinilisää nauttimalla viiden viikon aikana noin 55 % ja poishuuhtoutumisaika oli keskimäärin 3,5 % viikossa.

Vastaavasti ”low respondeilla” karnosiiniarvot nousivat vain 15 % ja poishuuhtoutumisaika oli noin 2,5 % viikossa. Stellingwerff ym. (2012) havaitsivat karnosiiniarvojen putoavan keskimäärin 2 % viikossa, mutta tässäkin tapauksessa löytyi jonkun verran yksilöllisiä eroja. Kuitenkin voidaan todeta, että karnosiinin poistumisnopeus elimistöstä on kohtuullisen lineaarinen kaikilla lihassolutyypeillä (Baguet ym. 2009).

2.3.3 Beeta-alaniinin vaikutukset suorituskykyyn

Hobson ym. (2012) tehdyn meta-analyysin mukaan beeta-alaniinin vaikutukset toimivat parhaiten 60-240s kestävässä suorituksissa. Alle 60s suorituksissa ei ole havaittu merkitseviä parannuksia beeta-alaniinilisää käyttämällä.

Baguet ym. (2010) havaitsivat beeta-alaniinilisän korreloivan vahvasti 2000 metrin soutuosuorituksiin aina 100 metrin matkasta 6000 metrin matkaan asti. Tutkimuksessa 18 belgialaista miessuotajaa nauttivat 7 viikon ajan joko beeta-alaniinia tai lumeainetta 5g päivässä. Beeta-alaniiniryhmällä soutuosuoritukset parantuivat keskimäärin 4,3, kun taas

lumeryhmällä tulokset pysyivät lähes ennallaan. Tutkimuksessa havaittiin myös, että mitä enemmän karnosiiniarvot nousivat, sitä enemmän tulokset parantuivat.

Myös Ducker ym. (2013) havaitsivat beeta-alaniinilla olevan positiivisia vaikutuksia 800 metrin juoksuaikaan. Tutkimukseen osallistui 18 hyväkuntoista mieshenkilöä. Koehenkilöt jaettiin beeta-alaniini ja lumeryhmiin. Koehenkilöitä ohjeistettiin olemaan nauttimatta beeta-alaniinilisää 6 kuukautta sekä lisäravinteita 3 kuukautta ennen tutkimuksen alkua. Beeta-alaniinia nautittiin 28 päivän ajan 80 mg/kg päivässä jaettuna 4 annokseen. Juoksut juostiin 400 m nurmiradalla. Beeta-alaniiniryhmällä tulokset parantuivat huomattavasti (-3,6s), mutta veren laktaatti- ja pH-arvoissa ei ollut merkitseviä muutoksia.

Hobsonin ym. (2013) tekemässä tutkimuksessa eliittitason miessuotajat paransivat 2000 m soutuaikaansa huomattavasti beeta-alaniinilisää käyttämällä. Tutkimukseen osallistui 20 miessuotajaa, jotka jaettiin beeta-alaniini ja lumeryhmiin. Koehenkilöt nauttivat 28 päivän ajan 6,4 g päivässä beeta-alaniinia. Ennen lopputestejä koehenkilöt nauttivat joko maltodekstriiniä tai natriumbikarbonaattia. Beeta-alaniiniryhmillä 2000 metrin soutuosuoritukset parantuivat 2-3 sekuntia. Lumeryhmällä tulokset heikkenivät jonkin verran. Veren pH-arvoissa ei havaittu merkitseviä muutoksia. Vastaavasti taas laktaattiarvot nousivat huomattavasti, joka kertoo anaerobisen glykolyysin parantuneesta energiantuottonopeudesta.

Derawe ym. (2007) tekivät tutkimuksen, jossa koehenkilöinä oli 400 metrin juoksijoita. Koehenkilöt nauttivat beeta-alaniinia 4 viikon ajan 4,8 g päivässä. Koehenkilöillä isometrinen kestovoima parantui jonkin verran, mutta 400 m juoksusuorituksissa ei havaittu positiivisia parannuksia. Myös Mero ym. (2013) havaitsivat tutkimuksessaan, ettei beeta-alaniinilisällä ole vaikutusta 100 m vapaauintisuorituksissa. Tutkimustuloksia tukee jo kerran mainitun Hobsonin ym. (2012) meta-analyysi, jossa havaittiin, ettei beeta-alaniini vaikuta merkitsevästi alle 60 sekunnin suorituksissa.

Painelli ym. (2012) tutkivat beeta-alaniinin vaikutusta 100 metrin ja 200 metrin maksimaalisiin uintisuorituksiin. Koehenkilönä oli 16 kilpauimaria, jotka nauttivat beeta-alaniinia 3,2 g/pv viikon ajan ja 6,4 g/pv neljän viikon ajan. Tutkimuksessa koehenkilöt uivat beeta-alaniinilisää käyttämällä keskimäärin 2,1 % kovempaa molemmilla uintimatkoilla.

Voidaan todeta, että 2000- luvulla tehdyissä beeta-alaniinitutkimuksissa on löydetty paljon positiivisia vaikutuksia suorituskyvyn lisäämiseen. Fysiologisissa muuttujissa ei kuitenkaan löydy tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Tämä johtunee siitä, että näytteet on otettu

pääasiassa verestä, kun taas beeta-alaniini vaikuttaa lihaksen sisällä, jossa myös tapahtuvat todelliset fysiologiset vaikutukset.

2.3.4 Beeta-alaniinin haittavaikutukset

Beeta-alaniinilisän välittömistä vaikutuksista ei ole paljon tutkimusnäyttöä. Beeta-alaniinilisän ja noin kuukauden kestävän käyttöjakson on kuitenkin havaittu olevan turvallista. Ainoa merkitsevä haittavaikutus on ollut ihon kihelmöinti, joka varsinkin suurilla kerta-annoksilla on todennäköistä (yli 800 mg). Ihon kihelmöinnin vuoksi beeta-alaniinia on vaikea ”peittää” tutkimuksissa, jossa nautitaan myös lumeainetta. Yli 40 mg/kg kerta-annoksien on havaittu olevan joidenkin koehenkilöiden mielestä jo erittäin epämiellyttävää. (Harris ym. 2006).

2.4 Beeta-alaniini ja hormonitasapaino: testosteroni ja kortisoli

Testosteroni. Testosteroni on erittäin tärkeä anabolinen steroidihormoni ihmisen elimistössä. Miehillä testosteronin erityy tapahtuu kiveksissä, kun taas naisilla erityykestä vastaa muun muassa munasarjat sekä lisämunuainen. Testosteronin anabolisen vaikutuksen vuoksi sen tärkeimpiin tehtäviin kuuluu kudosten rakentaminen ja niiden ylläpito. (Guyton & Hall 2006, 1003-1010.) Testosteronin normaaliarvo miehillä veressä on noin 23 nmol/l (Simon ym. 1996).

Välittömästi kovan lyhyen fyysisen kuormituksen jälkeen veren testosteronipitoisuus saattaa nousta akuutisti lepoarvoista (Volek ym. 1997), mutta myöhemmin se kääntyy laskuun kuormituksen aiheuttaman katabolisen tilan vuoksi. Testosteronipitoisuudet saattavat olla alhaiset jopa 24 tuntia harjoituksen päättymisen jälkeenkin. (Daly ym. 2004.)

Kortisoli. Lisämunuaisen kuorikerroksen erittämä kortisoli luokitellaan myös steroidihormoniksi. Kortisoli aktivoituu stressin vaikutuksesta esimerkiksi kovassa fyysisessä kuormituksessa. Tämän takia sitä kutsutaan stressihormoniksi. Fyysinen kuormitus laukaisee CRH:n eli kortikotropiinin vapauttajahormonin erityksen hypotalamuksessa. Tämä taas stimuloi aivolisäkkeen etuosassa eritettävää ACTH:n eli adrenokortikotrooppisen hormonin eritystä, joka vastaavasti aktivoi kortisolin erityksen. (Guyton & Hall 2006, 950-956.) Mitä

kovempi fyysinen kuormitus, sitä enemmän kortisoliarvot nousevat (Hill ym. 2008). Kortisolilla on pääasiassa katabolinen vaikutus lähes kaikkialla elimistössä. Tämä tarkoittaa sitä, että se vähentää proteiinisynteesiä ja edistää proteiinien hajottamista. Eli se toimii päinvastaisella tavalla kuin testosteroni, jolla on anabolinen vaikutus. Katabolisen vaikutuksen lisäksi kortisoli kiihdyttää muun muassa maksan glukoneogeneesiä. (Guyton & Hall 2006, 950-956.) Kortisolia veressä on noin 123-623 nmol/l. Lepoarvot ovat suurimmillaan aamulla ja pienimmillään illalla. (Ljubijankic ym. 2008.)

Testosteroni-kortisolisuhte. Anabolisen ja katabolisen aineenvaihdunnan tasapainoa voidaan kuvata testosteronin ja kortisolin välisellä suhteella. Kovan kuormituksen seurauksena testosteroni-kortisolisuhte pienenee katabolian vallitessa elimistössä. Käytännössä mitä kovempi fyysinen suoritus sitä enemmän testosteroni-kortisolisuhte laskee. Elimistön kehittyessä ja palautuessa tulisi testosteroni-kortisolisuhte nousta anabolisen vaikutuksen seurauksena.

Beeta-alaniini ja hormonitasapaino. Beeta-alaniinin vaikutuksista hormonitasapainoon löytyy vielä hyvin vähän tutkimusartikkeleja. Hoffman ym. (2008) havaitsivat 30 päivän beeta-alaniinin käyttöjaksolla, että sillä ei ollut vaikutuksia testosteroni- ja kortisolipitoisuuksiin, sen sijaan kasvuhormonin pitoisuus nousi. Samankaltaisia tuloksia löysivät myös Hoffman ym. (2006) tutkimuksessaan, jossa ei havaittu beeta-alaniini- ja kreatiiniyhdistelmällä olevan vaikutuksia testosteroni- ja kortisolipitoisuuksiin 10 viikon käyttöjakson aikana.

3 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää lyhyen beeta-alaniinin käyttöjakson vaikutusta 600 metrin suorituskykyyn kansallisen tason 800 metrin mieskilpajuoksijoilla. Matka 600 metriä valittiin siksi, että siihen on psykologisesti helpompi valmistautua verrattuna 800 metrin juoksuun.

Tutkimusongelma 1: Vaikuttaako kolmen vuorokauden suurehkon beeta-alaniiniannoksen (8,2 g/vrk) nauttiminen 600 m maksimaaliseen juoksuaikaan?

Hypoteesi 1: Juoksuaika paranee

Perustelu 1. Beeta-alaniinilisän on havaittu lisäävän solunsisäisen puskurointiaineen karnosiinin määrää (Baguet ym. 2009, Derawe ym. 2007, Hill ym. 2007, Harris ym. 2006, Stellingwerff ym. 2012) ja vaikuttavan 60 - 240 sekunnin suorituksissa (Hobson ym. 2012), joten voidaan odottaa juoksuaikojen paranemisia, koska arvioidut juoksuaajat ovat 82-86 s. Lyhyestä beeta-alaniinilisän käyttöjaksosta ja akuuteista vaikutuksista ei löydy kuitenkaan aikaisempia tutkimusnäyttöjä.

Tutkimusongelma 2: Miten suurehko beeta-alaniiniannoksen (8,2 g/vrk) nauttiminen vaikuttaa veren pH- ja laktaattiarvoihin?

Hypoteesi 2: Beeta-alaniinilisä ei vaikuta veren pH- ja laktaattiarvoihin

Perustelu 2. Beeta-alaniinilisän on havaittu lisäävän solunsisäisen puskurointiaineen karnosiinin määrää (Baguet ym. 2009, Derawe ym. 2007, Hill ym. 2007, Harris ym. 2006, Stellingwerff ym. 2012). Suurimmat muutokset tapahtuvat siis solun sisällä, joten todennäköisesti muutokset veren pH- ja laktaattiarvoissa ovat pieniä (Stellingwerff ym. 2012).

Tutkimusongelma 3: Vaikuttaako kolmen vuorokauden suurehkon beeta-alaniiniannoksen (8,2 g/vrk) nauttiminen 600 m maksimaalisen juoksun jälkeiseen testosteroni/kortisoli - suhteeseen?

Hypoteesi 3: Beeta-alaniinilisä vaikuttaa juoksun jälkeiseen testosteroni / kortisoli - tasapainoon pienentämällä testosteronin ja kortisolin välistä suhdetta eli lisäämällä katabolista tilaa elimistössä.

Perustelu 3. Beeta-alaniinilisän avulla tehostetun anaerobisen energiantuoton tulisi lisätä stressihormoni kortisolin (Hill ym. 2008) ja vastaavasti laskea testosteronin eritystä kuormituksen jälkeisessä palautumisessa 60 minuutin kohdalla (Daly ym. 2004), jolloin näiden kahden välinen suhde testosteroni suhteessa kortisoliin pienenee.

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

4.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä olivat (n=6, ikä 25,9 ± 2,6 vuotta) 800 metrin kansallisen tason miesjuoksijoita. Heidän 800 metrin ennätysten keskiarvo oli 1.56,76 ± 3,5 sekuntia. Juoksijat harjoittelevat tavoitteellisesti keskimäärin 8-12 harjoitusta viikossa. Harjoitusten pituudet vaihtelivat 1-2 h välillä. Koehenkilöiden harjoittelua ei pystytty vakioimaan, mutta harjoitusohjelmat koostuivat pääasiassa samankaltaisista kuormituksista, johtuen siitä, että jokainen valmistautui hallikilpailukauteen.

4.2 Koeasetelma

Jokainen koehenkilö suoritti kaksi 600 metrin testijuoksua joko beeta-alaniini- tai plasebotankkauksella. Kolme kuukautta ennen käyttöjaksojen alkua koehenkilöitä neuvottiin olemaan käyttämättä beeta-alaniinilisää. Myös lisäravinteiden käyttö kiellettiin yhtä kuukautta ennen käyttöjakson alkua. Lisäravinteiksi ei kuitenkaan laskettu palautusjuomia ja vitamiinivalmisteita. Beeta-alaniinia nautittiin suun kautta 8,2 grammaa päivässä jaettuna seitsemääntoista 0,48 milligramman kapseliin. Lumeaineena oli maltodekstriiniä samankaltaisissa kapseleissa. Käyttöjakso kesti kolmen vuorokauden ajan. Annokset (3-4 kapselia) neuvottiin nauttimaan 3-4 tunnin välein samaan aikaan ruuan kanssa. Kolme koehenkilöä (n=3) juoksi ensimmäisessä testijuoksussa plasebotankkauksella ja toiset kolme (n=3) beeta-alaniinitankkauksella. Toisessa testijuoksussa osat vaihtuivat. Testijuoksujen välissä oli 23–28 vuorokautta johtuen karnosiinin hitaasta poistumisnopeudesta (Harris ym. 2006). Koehenkilöiden harjoittelua ei pystytty vakioimaan, mutta heitä neuvottiin täyttämään harjoituspäiväkirjaa koejakson ajan. Ennen testijuoksua koehenkilöitä ohjeistettiin keventämään harjoittelua kolme vuorokautta ennen varsinaista suoritusta. Myös ravinto neuvottiin vakioimaan samankaltaiseksi 48 tuntia ennen juoksupäivää. Koehenkilöt juoksivat testijuoksut samaan aikaan päivästä 200 m sisähallissa.

4.3 Aineiston keräys ja analysointi

Testijuoksu 600 m suoritettiin Jyväskylän Hippshallin 200 m sisäradalla. Tutkimuksessa mitattiin 600 m juoksuajat käsiajanotolla. Juoksuista kelloitettiin myös kierrosväliajat 200 m ja 400 m kohdilta. Verinäytteiden analysoinnit tehtiin Vivecan laboratoriossa.

Ennen käyttöjakson alkua. Koehenkilöiltä kerättiin ennen juoksutestejä kahden viikon ajalta harjoituspäiväkirjat, jotka tarkastettiin mahdollisten harjoituksellisten erojen vuoksi. Koehenkilöt täyttivät myös ruokapäiväkirjaa kolmen vuorokauden ajan ennen juoksutestejä, jotta ruokailu saataisiin vakioitua samankaltaisiksi molemmissa testeissä. Tarkempaa analyysia ruokapäiväkirjoista ei kuitenkaan tehty.

Pieni verenkuvat. Pieni verenkuvat otettiin ennen käyttöjakson alkua (PAASTO1), käyttöjakson jälkeen (PAASTO2). Ensimmäiset kaksi näytettä otettiin 10 tunnin paaston jälkeen aamulla klo 8-9. Näiden lisäksi pieni verenkuvat otettiin kolme ja 60 minuuttia testijuoksujen päättymisen jälkeen. Verinäytteet otettiin kyynärlaskimosta (3 ml EDTA) ja analysoitiin Sysmex KX 21N- laitteella.

Verikaasut. Verikaasut mitattiin ennen käyttöjakson alkua (PAASTO1), käyttöjakson jälkeen (PAASTO2), ennen testijuoksua (PRE), sekä 3, 6, 10 ja 60 min testijuoksujen loppumisen jälkeen (POST3', 6', 10', 60'). Verikaasut analysoitiin sormenpäänäytteestä (200 µl) GEM Premier 3000- laitteella. Verikaasuista analysoitiin pH (SD 0,005-0,009), natrium- ja kaliumarvot (CV 0,86 % ja 0,71 %).

Verinäytteet laktaatin analysoimiseksi. Näytteet otettiin ennen testijuoksujen alkua (PRE) ja 3, 6, 10 sekä 60 min juoksujen loppumisen jälkeen (POST3', 6', 10', 60'). Sormenpääverinäytteestä (heparinoitu kapillaariputki 20 µl) analysoitiin laktaatti Biosen Cline Sport- laitteella. Valmistajan ilmoittama variaatiokerroin (CV) oli laktaattipitoisuuksille 1,5 %.

Testosteroni ja kortisoli. Testosteroni ja kortisolit mitattiin ennen testijuoksujen alkua (PRE), 3 ja 60 min juoksujen loppumisen jälkeen (POST 3' ja 60'). Näytteet analysoitiin kyynärlaskimonäytteestä (4 ml geeliseerumi) Immulite 2000 Systex- laitteella. Valmistajan ilmoittama variaatiokerroin (CV) testosteronille oli 4,20 % ja kortisolille 2,24 %.

4.4 Tilastollinen käsittely

Tutkimuksen tulokset analysoitiin Excel- ohjelman avulla. Ohjelman avulla laskettiin keskiarvot (k.a), keskihajonnat (SD) sekä tehtiin beeta-alaniini- ja kontrolliryhmän välillä parittaiset t-testit. Merkitsevyyden alarajana pidettiin oli $p < 0,05$.

5 TULOKSET

5.1 Juoksuajat

Testijuoksun (600m) loppuajat ja niiden väliajat on esitetty taulukoissa 2 ja 3 jokaiselta koehenkilöltä erikseen. Juoksuajoissa ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Beeta-alaniiniryhmän aika parantui keskimäärin 0,2 sekuntia ($p=0.687$). Toisessa väliajassa beeta-alaniiniryhmän keskiarvoaika oli 0,4 sekuntia hitaampi kuin plaseboryhmällä ($p=0.167$). Kolmas väliaika oli beeta-alaniiniryhmällä keskimäärin 0,85 sekuntia nopeampi kuin plaseboryhmällä ($p=0.242$), mutta keskihajonta oli suuri $\pm 1,57$.

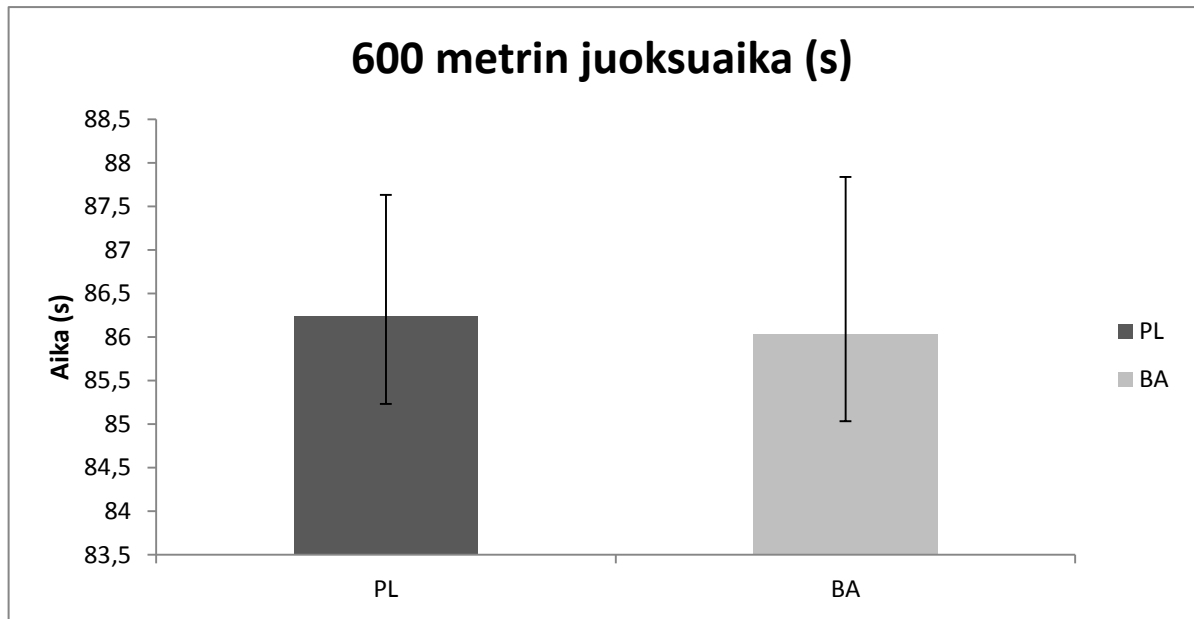
TAULUKKO 2. 600 metrin juoksun loppuajat (s) ja keskihajonnat (SD) plasebo- (PL) ja beeta-alaniiniryhmällä (BA).

Koehenkilö	PL (s)	BA (s)	Erotus (s)
KH1	86,1	84,8	-1,3
KH2	86,0	87,3	+1,3
KH3	84,5	83,5	-1,0
KH4	86,0	85,2	-0,8
KH5	86,0	87,2	+1,2
KH6	88,8	88,2	-0,6
K.a \pm SD	86,2 \pm 1,27	86,0 \pm 1,6	-0,2 \pm 1,14

TAULUKKO 3. 600 metrin juoksun yksilöidyt 200 metrin väliajat (s) ja keskihajonnat (SD) plasebo- (PL) ja beeta-alaniinijuoksuilla (BA). Väliajoissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä muutoksia ($p > 0.05$).

Koehenkilö	PL*	BA*	Erotus	PL**	BA**	Erotus	PL***	BA***	Erotus (BA-PL)
KH1	27,0	27,0	0,0	27,8	28,3	+0,5	31,3	29,5	-1,8
KH2	27,4	27,0	-0,4	28,9	29,4	+0,5	29,7	30,9	1,2
KH3	27,0	26,8	-0,2	27,5	27,0	-0,5	30,0	29,5	-0,5
KH4	26,0	28,0	+2,0	27,2	27,8	+0,6	32,8	29,4	-3,4
KH5	27,8	28,0	+0,2	28,2	29,5	+1,3	30,0	29,7	-0,3
KH6	28,0	27,7	-0,3	29,4	29,4	+0,0	31,4	31,1	-0,3
K.a \pm SD	27,2 \pm 0,72	27,42 \pm 0,55	+0,3 \pm 0,90	28,17 \pm 0,85	28,57 \pm 1,04	+0,4 \pm 0,60	30,87 \pm 1,19	30,02 \pm 0,77	-0,85 \pm 1,57

*Ensimmäinen 200 metrin väliaika **Toinen 200 metrin väliaika 400 metrin kohdalla *** Kolmas 200 metrin väliaika 600 metrin kohdalla



KUVA 3. 600 metrin juoksujen keskiarvoaika \pm keskihajonta plasebo (PL) ja beeta-alaniini (BA) juoksuilla. Loppuajoissa ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja ($p > 0.05$).

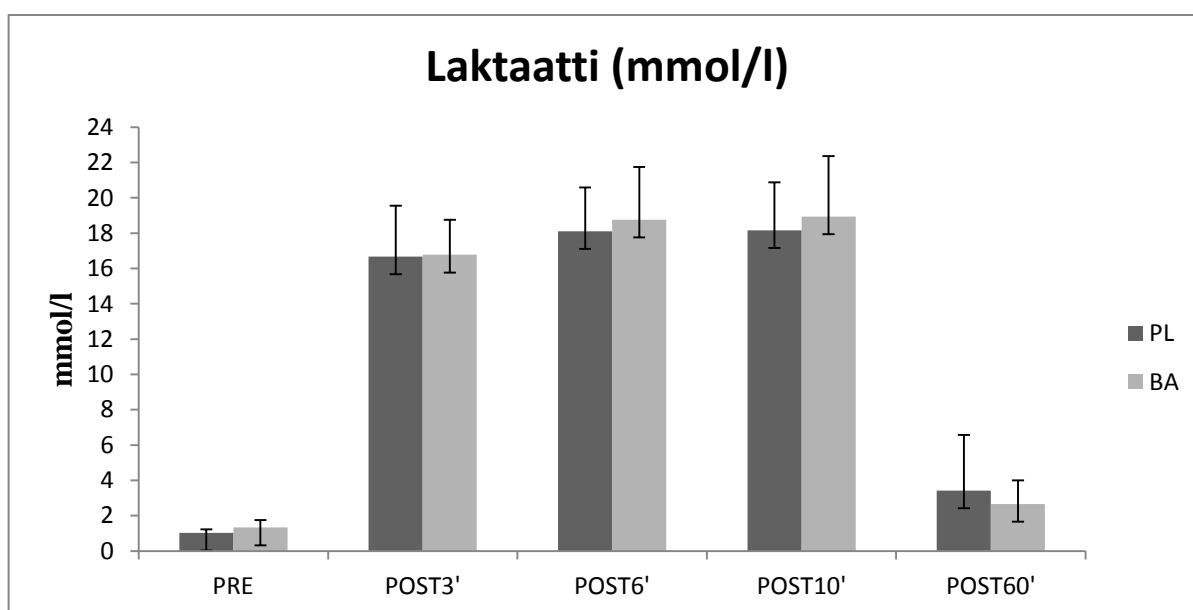
5.2 Veren laktaatti ja pH

Kaikkien koehenkilöiden plasebo- ja beeta-alaniinijuoksujen jälkeiset veren laktaattiarvot ja niiden erotukset on esitetty taulukossa 4. Kuvassa 4 on kuvattuna kaikkien laktaattimittauksien (PRE, POST3', POST6' ja POST10') keskiarvot ja keskihajonnat. Beeta-alaniiniryhmällä juoksun jälkeiset laktaattiarvot olivat hieman korkeampia verrattuna plaseboryhmän arvoihin etenkin 6 ja 10 minuuttia juoksujen loppumisen jälkeen (POST6' ja 10'). Muutokset eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä ($p= 0.539$ ja $p=0.380$).

TAULUKKO 4. 600 metrin juoksun jälkeiset yksilöidyt laktaattiarvot plasebo- ja beeta-alaniinijuoksuilla (mmol/l) sekä niiden väliset muutokset.

Koehen kilö	PL/PO ST 3’*	BA/POS T3’*	Erotus (mmol/l)	PL/PO ST 6’**	BA/POS T6’**	Erotus (mmol/l)	PL/POST 10’***	BA/POS T10’***	erotus (mmol/l)
KH1	17,8	18,76	+0,96	21,75	22,3	+0,55	21,84	23,62	+1,78
KH2	14,37	15,08	+0,71	16,89	17,02	+0,13	15,93	16,25	+0,32
KH3	16,6	17,83	+1,23	17,81	17,71	-0,1	17,14	19,27	+2,13
KH4	21,86	17,62	-4,24	20,5	20,39	-0,11	21,41	20,92	-0,49
KH5	14,54	13,61	-0,03	16,07	14,21	-1,86	16,14	13,9	-2,24
KH6	14,9	17,72	+2,18	15,62	20,9	+5,28	16,5	19,63	+3,13
k.a±SD	16,67 ± 2,87	16,77 ± 1,98	+0,1 ± 2,26	18,10 ± 2,48	18,75 ± 2,98	+0,65 ± 2,41	18,16 ± 2,72	18,93 ± 3,44	+0,77 ± 1,96

*POST3’ = 3 minuuttia juoksun loppumisen jälkeen, **POST6’ = 6 minuuttia juoksun loppumisen jälkeen, ***POST10’ = 10 minuuttia juoksun loppumisen jälkeen



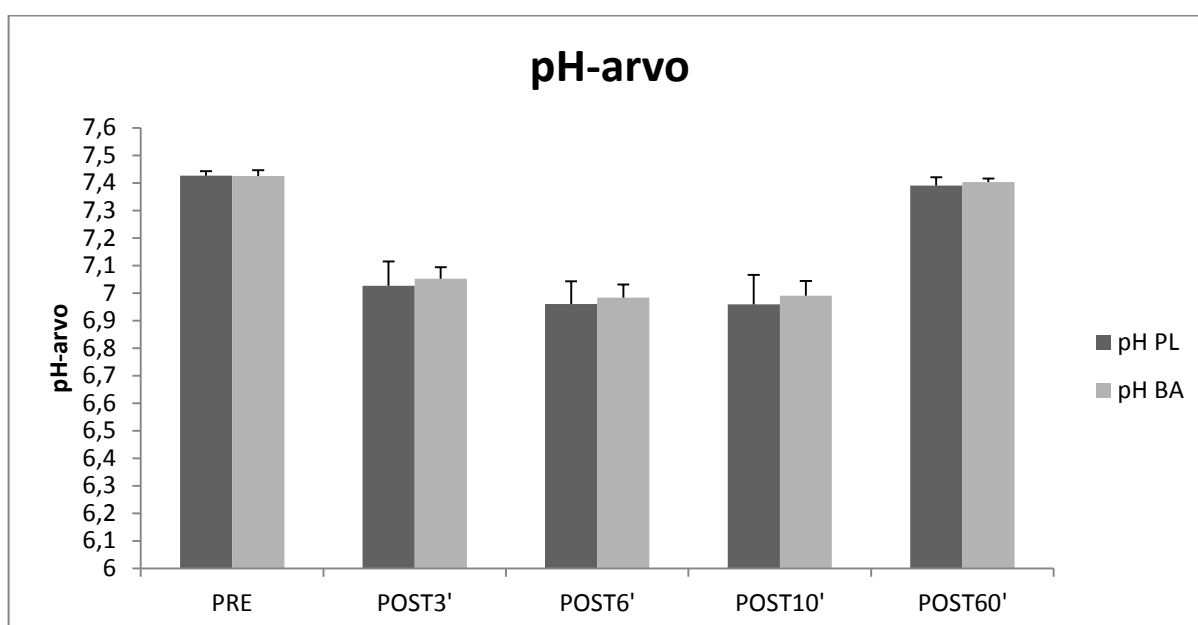
KUVA 4. Veren laktaattien keskiarvot ± keskihajonnat plasebo (PL) ja beeta-alaniini (BA) juoksuilla. Laktaattiarvoissa ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja ($p > 0.05$).

Kaikkien koehenkilöiden plasebo- ja beeta-alaniinijuoksujen jälkeiset veren pH-arvot ja niiden muutokset on esitetty taulukossa 5. Kuvassa 5 on esitetty kaikkien pH-mittauksien arvot ja keskihajonnat. Juoksujen jälkeisissä näytteissä (POST6’ ja 10’) pH-arvot olivat hieman emäksisempiä beeta-alaniinijuoksuilla verrattuna plasebojuoksuihin. Muutokset eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä ($p=0.346$ ja $p=0.421$).

TAULUKKO 5. 600 metrin juoksun jälkeiset yksilölliset pH-arvot plasebo- ja beeta-alaniinijuoksuilla sekä niiden väliset muutokset.

Koehen kilö	PL/POST 3'*	BA/POST 3'*	Erotus	PL/POST 6'***	BA/POST 6'***	Erotus	PL/POST 10'****	BA/POST 10'****	Erotus
KH1	6,97	7,06	+0,09	6,89	6,94	+0,05	6,85	6,95	+0,1
KH2	7,1	7,08	-0,02	7,02	7,03	+0,01	7,0	7,05	+0,05
KH3	7,03	7,01	-0,02	6,97	6,94	-0,03	6,99	6,93	-0,06
KH4	6,88	7,0	+0,12	6,83	6,95	+0,12	6,8	6,96	+0,16
KH5	7,1	7,11	+0,1	7,04	7,05	+0,01	7,06	7,06	-
KH6	7,08	7,05	-0,3	7,01	6,99	-0,02	7,05	6,99	-0,06
k.a±SD	7,03 ± 0,09	7,05 ± 0,04	+0,2 ± 0,16	6,96 ± 0,08	6,98 ± 0,05	+0,03 ± 0,06	6,96 ± 0,11	6,99 ± 0,05	+0,03 ± 0,1

*POST3' = 3 minuuttia juoksun loppumisen jälkeen, **POST6' = 6 minuuttia juoksun loppumisen jälkeen, ***POST10' = 10 minuuttia juoksun loppumisen jälkeen

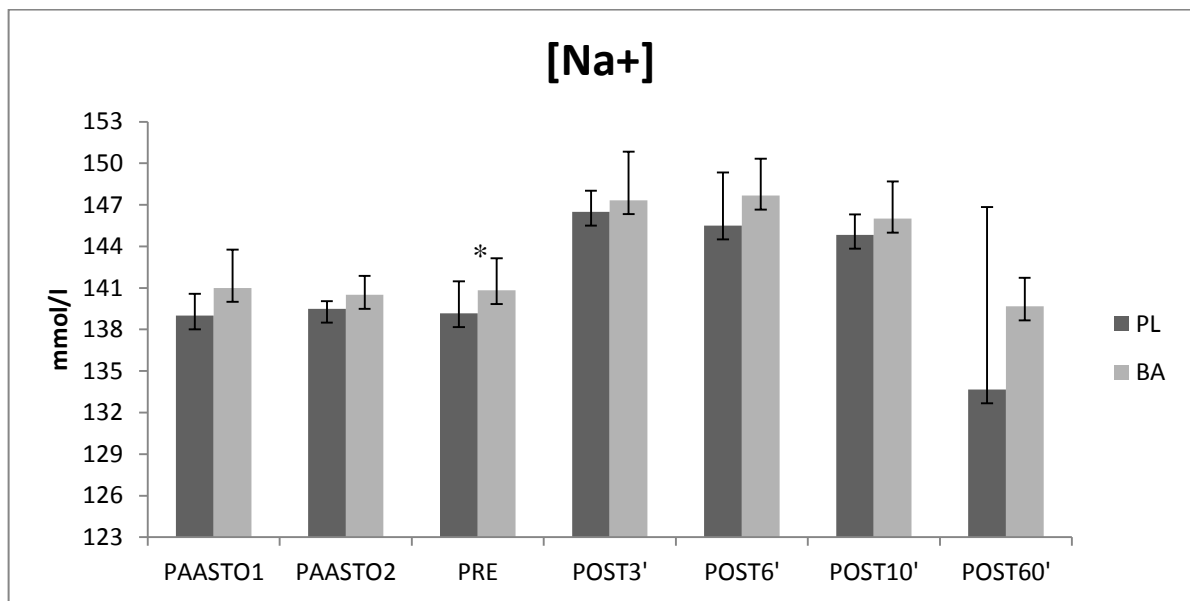


KUVA 5. Veren pH-arvojen keskiarvot ± keskihajonnat plasebo (PL) ja beeta-alaniini (BA) juoksuilla. pH-arvoissa ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja ($p > 0.05$).

5.3 Veren natrium

Plasebo- ja beeta-alaniinijuoksujen veren natriumin keskiarvot ja keskihajonnat (nmol/l) on esitetty kuvassa 6. Beeta-alaniiniryhmällä natriumarvot olivat jokaisella mittauskerralla suuremmat verrattuna plaseboryhmän arvoihin. Ennen testijuoksua (PRE) otettu näyte oli tilastollisesti merkitsevä ($p=0.042$). Plaseboryhmän keskiarvo ja keskihajonta PRE-näytteellä oli $139,16 \pm 2,31$, kun taas beeta-alaniiniryhmällä vastaavat arvot olivat $140,83 \pm 2,31$. Myös

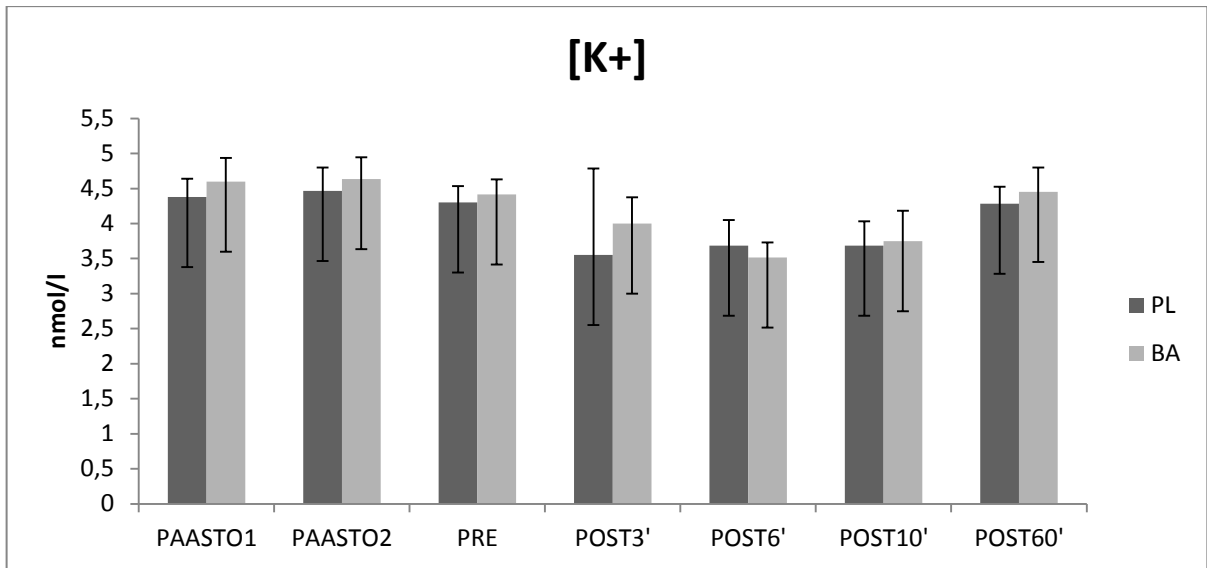
6 minuuttia juoksujen loppumisen jälkeen (POST6') muutokset lähestyivät tilastollisesti merkitsevää ($p=0.070$). POST6'- näytteen keskiarvo ja keskihajonta plaseboryhmällä oli $145,5 \pm 3,83$ ja beeta-alaniiniryhmällä $147,7 \pm 2,65$. Suurin plasebo- ja beeta-alaniiniryhmän erotus natriumarvoissa mitattiin kuitenkin 60 minuuttia juoksujen loppumisen jälkeen (POST60'). POST60'- näytteen keskiarvo ja keskihajonta plaseboryhmällä oli $133,66 \pm 13,17$ kun taas beeta-alaniiniryhmällä vastaavat arvot olivat $139,66 \pm 2,06$. Muutos ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevää ($p=0.318$) johtuen pääasiassa plasebomittauksien suuresta keskihajonnasta.



KUVA 6. Veren natriumien (nmol/l) keskiarvot \pm keskihajonnat plasebo (PL) ja beeta-alaniini (BA) juoksuilla kaikilta mittauskerroilta. * $p < 0.05$ tilastollisesti merkitsevää ero plasebo- ja beeta-alaniiniryhmän välillä.

5.4 Veren kalium

Plasebo- ja beeta-alaniinijuoksujen veren kaliumien keskiarvot ja keskihajonnat (nmol/l) on esitetty Kuvassa 7. Lähes jokaisessa mittauksessa kaliumarvot olivat beeta-alaniiniryhmällä suuremmat verrattuna plaseboryhmän tuloksiin, lukuun ottamatta 6 minuuttia juoksujen loppumisen jälkeen (POST6'). Tulokset eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä.



KUVA 7. Veren kaliumien (nmol/l) keskiarvot \pm keskihajonnat plasebo (PL) ja beeta-alaniini (BA) juoksuilla kaikilta mittauskerroilta. Kaliumarvoissa ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä muutoksia ($p > 0.05$).

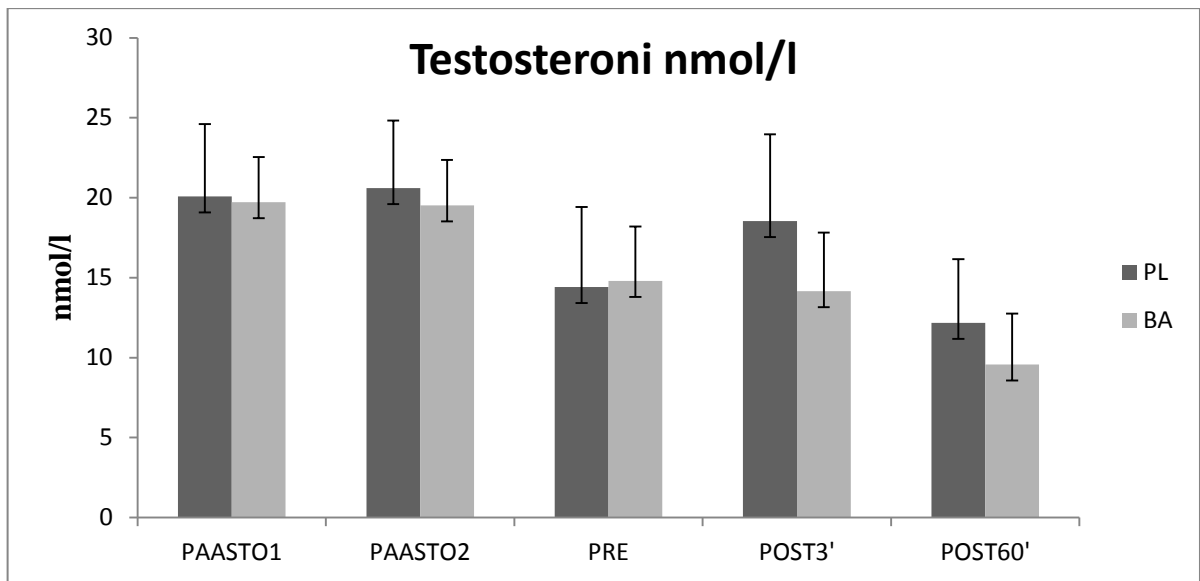
5.5 Testosteroni ja kortisoli

5.5.1 Testosteroni

Plasebo- ja beeta-alaniinijuoksujen veren testosteronien keskiarvot ja keskihajonnat kaikilta mittauskerroilta (nmol/l) on esitetty Kuvassa 8. 3 ja 10 minuuttia juoksujen loppumisen jälkeen (POST3' ja 10') testosteroniarvot olivat huomattavasti korkeammat plasebojuoksuilla verrattuna beeta-alaniinijuoksuihin (Taulukko 6), joista POST3'- näyte lähestyi tilastollisesti merkitsevää ($p=0.071$).

TAULUKKO 6. 600 metrin juoksun jälkeiset testosteronin keskiarvot \pm keskihajonnat plasebo- ja beeta-alaniinijuoksuilla (nmol/l). POST3'- näyte lähestyi tilastollisesti merkitsevää ($p=0.07$).

S-TEST (nmol/l)	PL	BA	p-arvo
PRE	14,4 \pm 5,0	14,8 \pm 3,39	0.860
POST3'	18,53 \pm 5,42	14,9 \pm 3,77	0.071
POST60'	12,17 \pm 3,98	9,57 \pm 3,17	0.159



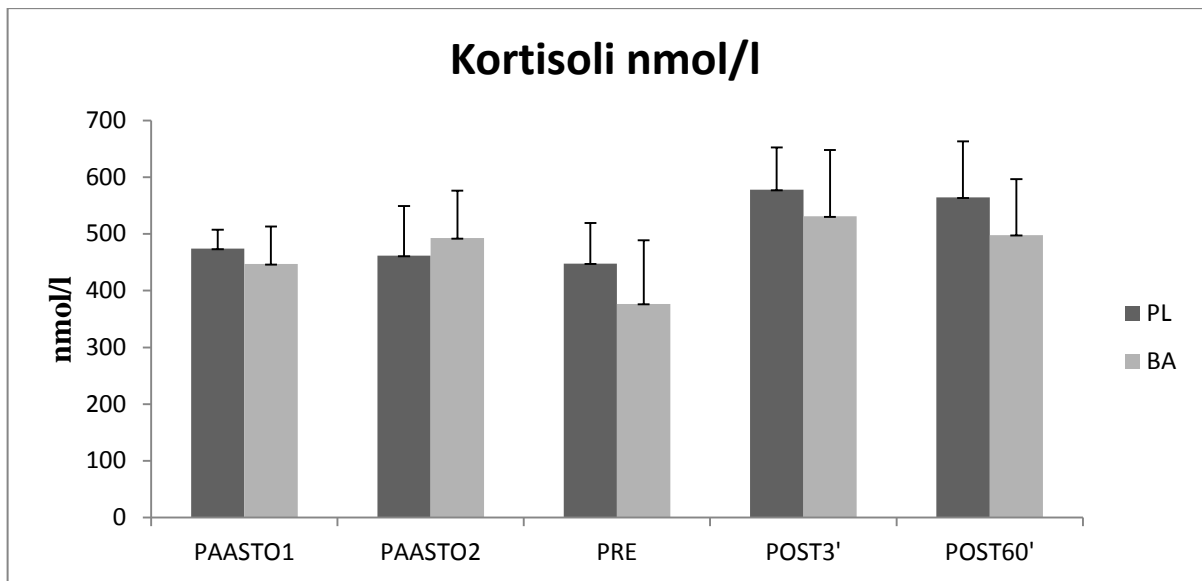
KUVA 8. Plasebo- ja beeta-alaniinijuoksujen veren testosteroniarvojen keskiarvot ja keskihajonnat kaikilta mittauskerroilta (nmol/l). Testosteroniarvoissa ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä muutoksia ($p > 0.05$).

5.5.2 Kortisoli

Plasebo- ja beeta-alaniinijuoksujen veren kortisolimittauksien keskiarvot ja keskihajonnat kaikilta mittauskerroilta (nmol/l) on esitetty kuvassa 9. Ennen testijuoksua (PRE) ja testijuoksujen loppumisen jälkeen (POST3' ja 10') kortisoliarvot olivat matalampia beeta-alaniiniryhmällä verrattuna plaseboryhmään. Muutokset eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä (taulukko 7).

TAULUKKO 7. 600 metrin juoksun jälkeiset kortisolien keskiarvot \pm keskihajonnat plasebo- ja beeta-alaniinijuoksulla (nmol/l). Kortisoliarvoissa ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä muutoksia ($p > 0.05$).

S-COR (nmol/l)	PL	BA	p-arvo
PRE	448,0 \pm 72,0	376,66 \pm 111,93	0.200
POST3'	578,0 \pm 74,38	531 \pm 116,77	0.103
POST60'	564,33 \pm 98,74	498 \pm 98,27	0.253



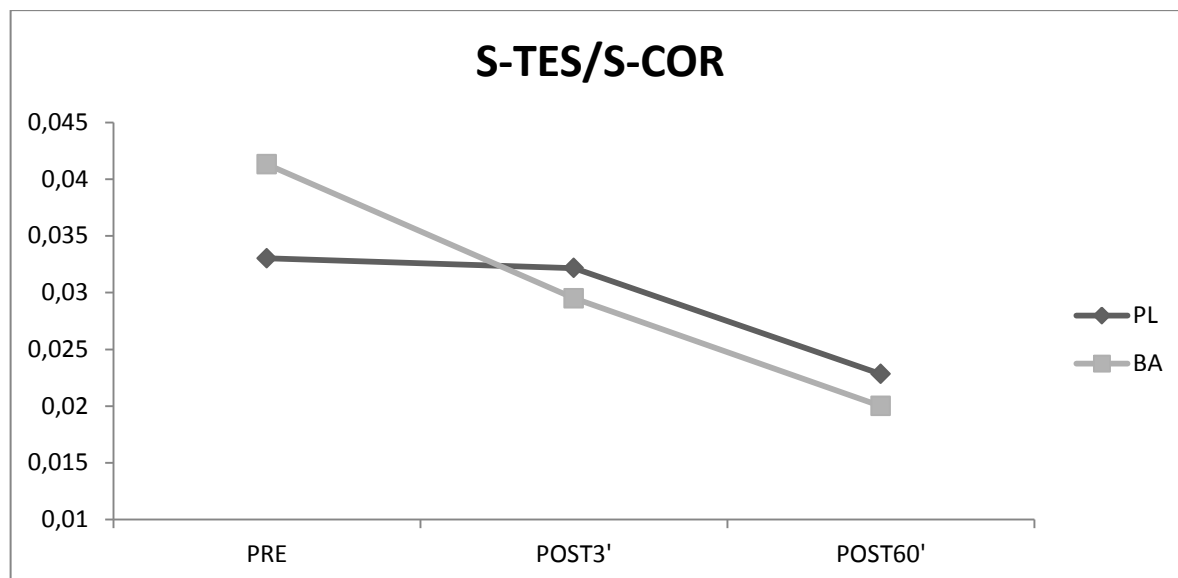
KUVA 9. Plasebo- ja beeta-alaniinijuoksujen kortisoliarvojen keskiarvot ja keskihajonnat kaikilta mittauskerroilta (nmol/l). Kortisoliarvoissa ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä muutoksia ($p > 0.05$).

5.5.3 Testosteroni-kortisolisuhte

Taulukossa 8 on esitetty testosteroni-kortisolisuhteiden keskiarvot, keskihajonnat sekä tilastollinen merkitsevyys. Plasebo- ja beeta-alaniiniryhmien välillä ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja. Ainoastaan PRE -näyte (ennen testijuoksua) lähestyi tilastollisesti merkitsevää ($p=0.085$).

TAULUKKO 8. Testosteroni-kortisolisuhteiden keskiarvot ja keskihajonnat ennen testijuoksua (PRE), 3 minuuttia (POST3') ja 60 minuuttia (POST60') juoksujen loppumisen jälkeen. Testosteroni-kortisolisuhteissa ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä muutoksia ($p > 0.05$).

S-TES/S-COR	PL	BA	p-arvo
PRE	0,033 ± 0,014	0,041 ± 0,015	0.085
POST3'	0,032 ± 0,010	0,029 ± 0,011	0.390
POST60'	0,023 ± 0,011	0,020 ± 0,009	0.444



KUVA 10. Testosteroni-kortisolisuhteen lasku placebo- ja beeta-alaniini-ryhmissä. Ryhmien välillä ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä muutoksia ($p > 0.05$).

5.5.4 Pieni verenkuvaa

Pienen verenkuvan tulokset on esitetty taulukossa 9. Plasebo- ja beeta-alaniini-ryhmän välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä muutoksia.

TAULUKKO 9. Pienen verenkuvan muuttujat (keskiarvo \pm keskihajonta) testipäivän aamuna (Paasto1) ja tunti ennen testin alkua (PRE) sekä näiden muutokset (1 \rightarrow 2) beeta-alaniini- (BA) ja plaseboryhmällä (PL) yhteydessä.

Muuttuja	Paasto2 PL	Paasto2 BA	Erotus	PRE PL	PRE BA	Erotus
B-Leuk (x10⁹/l)	5,4 \pm 1,3	5,7 \pm 1,1	-0,1 \pm 0,5	5,1 \pm 1,1	5,6 \pm 2,2	-0,5 \pm 0,5
B-Eryt (x10³²/l)	5,3 \pm 0,3	5,2 \pm 0,4	-0,1 \pm 1,4	5,1 \pm 0,2	5,2 \pm 0,2	-0,1 \pm 0,1
B-Hb (g/l)	151,1 \pm 8,4	156 \pm 11,6	-3,9 \pm 4,1	152 \pm 5,6	153,5 \pm 10,3	-1,5 \pm 3,9
B-HKR (%)	43,6 \pm 2,2	38,2 \pm 18,2	6,4 \pm 1,1	44,7 \pm 2,2	44,7 \pm 1,3	0,0 \pm 1,5
B-MCV (fl)	84,8 \pm 2,3	86,7 \pm 2,2	0,1 \pm 0,8	86,3 \pm 2,2	86,7 \pm 2,4	-0,4 \pm 1,1
B-MCH (pg)	29,2 \pm 0,4	30,0 \pm 1,2	-0,5 \pm 0,3	29,5 \pm 1,2	29,7 \pm 0,3	-0,2 \pm 0,8
B-Tromb (x10⁹/l)	202,7 \pm 41,8	207,5 \pm 38,8	-4,8 \pm 16,0	203,8 \pm 40,1	206,6 \pm 38,6	-2,8 \pm 20,2
L-Lymf (%)	42,4 \pm 8,6	43,0 \pm 2,3	-0,6 \pm 7,2	35,2 \pm 5,3	35,0 \pm 5,7	0,2 \pm 4,3
L-MXD (%)	9,8 \pm 0,4	8,8 \pm 2,7	1,1 \pm 4,3	10,1 \pm 3,2	9,4 \pm 2,4	0,7 \pm 2,2
L-Neutr (%)	47,7 \pm 8,7	48,2 \pm 3,2	-0,5 \pm 7,1	54,7 \pm 4,3	55,6 \pm 5,1	-0,9 \pm 4,5
B-Lymf (x10⁹/l)	2,4 \pm 0,6	2,5 \pm 0,3	-0,1 \pm 4,2	1,8 \pm 0,3	2,0 \pm 0,8	-0,2 \pm 0,2
B-MXD (x10⁹/l)	0,6 \pm 0,2	0,5 \pm 0,2	0,1 \pm 0,3	0,5 \pm 0,2	0,5 \pm 0,3	0,0 \pm 0,2
B-Neutr (x10⁹/l)	2,6 \pm 0,7	2,7 \pm 0,6	-0,1 \pm 0,4	2,8 \pm 0,5	3,1 \pm 1,2	-0,3 \pm 0,6
RDW_SD	43,1 \pm 3,0	43,5 \pm 2,9	-0,4 \pm 0,7	42,4 \pm 2,4	43,5 \pm 3,2	-1,1 \pm 1,1
RDW_CV	12,1 \pm 0,4	13,1 \pm 0,5	-1,0 \pm 0,3	12,9 \pm 0,3	13,0 \pm 0,6	-0,1 \pm 0,3

6 POHDINTA

Beeta-alaniinin määrä. Beeta-alaniinia jokainen koehenkilö nautti kolmen päivän ajan yhteensä 24,6 grammaa. Vuorokautisen määrän (8,2 g) ollessa suurehko verrattuna aikaisempiin tutkimuksiin (Stellingwerff ym. 2012., Harris ym. 2006, Baguet ym. 2009.) voidaan todeta, että karnosiinin määrä nousisi edellä mainitulla annostuksella noin 8-12 % (Stellingwerff ym. 2012). Harris ym. (2006) havaitsivat, että karnosiinipitoisuus lisääntyy mitä enemmän beeta-alaniinia nautitaan. Karnosiinipitoisuuksiin vaikuttavat myös vahvasti yksilölliset erot lihassolujakaumassa. On mahdollista, että konsentraatio kasvaa suhteellisesti enemmän hitaissa lihassoluissa verrattuna nopeisiin lihassoluihin (Alaranta ym. 2007). Koehenkilöiden lihassolujakaumia ei ollut mahdollista mitata, joten jää epäselväksi olivatko koehenkilöt niin sanottuja ”high respondereita”, joilla on nopeat glykolyttiset lihakset vai ”low respondereita”, joilla vastaavasti on hitaat oksidatiiviset lihakset (Baguet ym. 2009). Todellinen karnosiinin määrä koehenkilöiden lihassoluissa jää siis arvoitukseksi. Lihاسبiopsialla lihassolutyypit ja karnosiinin todellinen määrä saataisiin mitattua, mutta tässä tutkimuksessa sitä ei ollut mahdollista tehdä.

Juoksuajat. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että lyhyellä beeta-alaniinin käyttöjaksolla ei ole vaikutusta 600 metrin juoksun loppuajaan. Koehenkilöt juoksivat beeta-alaniinitankkauksella keskimäärin 0,2 sekuntia nopeammin verrattuna plasebotankkauksella juoksuun. Juoksuajat olivat käsiaikoja, joten on olemassa ajanottovirheen mahdollisuus, vaikka juoksuissa olikin kellottamassa 2-3 ajanottajaa. Viimeiset 200 metriä koehenkilöt juoksivat beeta-alaniinitankkauksella keskimäärin 0,85 sekuntia nopeammin verrattuna plasebotankkaukseen. Tätä viimeisen väliajan parannusta tukisi Hobsonin ym. (2012) tehty meta-analyysi, jossa tutkivat havaitsivat beeta-alaniinin vaikuttavan parhaiten 60 - 240 sekuntia kestävässä suorituksissa. Beeta-alaniiniryhmän viimeisen 200 metrin parannuksella ei kuitenkaan ole tilastollista merkitsevyyttä ($p=0.242$), johtuen osaksi suuresta keskihajonnasta ($\pm 1,57$) sekä pienestä otannasta ($n=6$).

Laktaatti ja pH. Laktaatti- ja pH-mittauksissa ei löytynyt plasebo- ja beeta-alaniiniryhmien välillä tilastollisesti merkitseviä eroja ($p > 0.05$). pH-arvot olivat kuitenkin beeta-alaniiniryhmällä hieman emäksisempiä verrattuna plaseboryhmään. Beeta-alaniinin muodostama karnosiini toimii pääasiassa solun sisällä, jossa se puskuroi happamuutta

sitomalla vetyioneja itseensä (Derawe ym. 2007). Tällä tavoin karnosiini pitää solun sisäistä pH-arvoa lähempänä neutraalia (Abe 2000), haitaten mahdollisimman vähän lihassupistusta. Tehostunut puskurointi lisää myös anaerobisen energiantuoton osuutta (Mero ym. 2007, 102). Anaerobisen kapasiteetin lisääntymistä tukee laktaattiarvojen nousu, jotka olivat hieman korkeammat beeta-alaniinitankkauksella kuusi minuuttia ja (nousu $+0,65 \pm 2,41$ mmol/l) ja 10 minuuttia juoksujen loppumisen (nousu $+0,77 \pm 1,96$ mmol/l). Muutokset pH ja laktaattiarvoissa olivat kuitenkin pieniä, eikä tilastollista merkitsevyyttä löytynyt ($p > 0.05$).

Testosteroni ja kortisoli. Testosteroni- ja kortisoliarvoissa ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä muutoksia ($p > 0.05$). Kolme minuuttia juoksujen loppumisen jälkeen kortisoli- ja testosteroniarvot olivat ei-merkitsevästi matalampia beeta-alaniiniryhmällä verrattuna plaseboryhmään. Testosteroni-kortisolisuhte laski hieman molempien juoksujen jälkeen viitaten luonnollisen katabolisen (hajottavan) tilan lisääntymiseen. Jos testosteroni-kortisolisuhteen arvo olisi noussut, niin silloin kehossa olisi ollut anabolia eli rakentava yleistila. Beeta-alaniiniryhmän ja plaseboryhmän välillä ei ollut kuitenkaan tilastollista merkitsevyyttä juoksun jälkeisissä testosteroni-kortisolisuhteessa. Ainoastaan PRE -näyte (ennen testijuoksua) lähestyi tilastollisesti merkitsevää ($p=0.085$). Tästä voidaan päätellä, että beeta-alaniiniryhmä oli enemmän anabolisessa tilassa ennen testijuoksua verrattuna plaseboryhmään. Tästä johtuen onkin mahdollista, että beeta-alaniinilisällä saattaisi olla enemmän hyötyä harjoituskaudella ja etenkin kovilla anaerobisilla voimaharjoitusjaksoilla. Vastaavasti Hoffman ym. (2008) havaitsivat beeta-alaniinilisän lisäävän kasvuhormonin konsentraatioarvoja. Kyseisessä tutkimuksessa mitattiin myös testosteroni- ja kortisoliarvot, mutta niissä ei havaittu muutoksia. Beeta-alaniinilisän vaikutuksista hormonitasapainoon löytyy vähän tutkimusnäyttöä, joten jatkotutkimukset voisivat keskittyä etenkin tälle alueelle.

Natrium ja kalium. Mielenkiintoisia tuloksia löytyi veren natrium- ja kaliumarvoissa. Beeta-alaniiniryhmän natriumarvot olivat jokaisessa näytteessä korkeammat verrattuna plaseboryhmän arvoihin. Muutokset eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä, lukuun ottamatta PRE -näytettä ($p=0.042$). Myös POST6' näyte lähestyi tilastollisesti merkitsevää ($p=0.070$). Suurin plasebo- ja beeta-alaniiniryhmän keskiarvoinen erotus natriumarvoissa mitattiin kuitenkin 60 minuuttia juoksujen loppumisen jälkeen (POST60'). Tällä ei ollut tilastollista merkitsevyyttä johtuen pääasiassa plaseboryhmän suuresta keskihajonnasta. Kaliumarvot nousivat beeta-alaniiniryhmällä niin ikään jokaisella mittauskerralla lukuun ottamatta POST6' -näytettä. Muutokset eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Alkaloosin seurauksena veren natriumarvot nousevat ja vastaavasti kaliumarvojen tulisi

laskea (Sostaric ym. 2006). Muutokset etenkin natriumarvoissa viittaavat Na⁺-K⁺-ATPaasiaktiivisuuden nousuun. Päinvastaisia tuloksia löysi Mero ym. (2013), kun he havaitsivat uinnin jälkeisten natriumarvojen laskevan beeta-alaniiniryhmällä verrattuna plasebomittauksiin. Voidaan todeta, että beeta-alaniinin vaikutus Na⁺-K⁺-ATPaasiaktiivisuuteen vaatii lisätutkimuksia.

Virhelähteet. Tutkimuksessa virhelähteitä syntyi jonkin verran, vaikka ne pyrittiin minimoimaan. 600 metrin juoksun ajat kelloitettiin käsiajanotolla, joka voidaan lukea mahdolliseksi virhelähteeksi. Kellotuksissa oli kuitenkin mukana 2-3 kellottajaa, joka vastaavasti laskee juoksuaikojen mahdollista virhettä. Juoksijoiden harjoittelua ei pystytty vakioimaan, mutta harjoitukset olivat testijakson ajan samankaltaisia. Kuitenkin mahdolliset eroavaisuudet harjoitteluissa vaikuttavat juoksuaikoihin. Koehenkilöt olivat kansallisen tason kilpajuoksijoita, joten oppimisen vaikutus toisessa juoksussa ei ole niin suuri mitä olisi esimerkiksi kokemattomilla juoksijoilla. Tämä näkyi juoksujen väliajoissa, sillä suurin osa niistä oli oikeaoppisella vauhdinjoolla juostuja. Myös ravinnolla on vaikutusta karnosiinipitoisuuteen. Etenkin lihasyönti lisää karnosiinin määrää (Park ym. 2005). Koehenkilöiden ruokailut pyrittiin vakioimaan ravintopäiväkirjojen avulla, jotta ruokailut olisivat kohtuullisen samankaltaisia plasebo- ja beeta-alaniinitestikerroilla. Kaikki koehenkilöt eivät kuitenkaan palauttaneet ravintopäiväkirjojaan, joten tarkempaa analyysia koehenkilöiden ravinnosta ei saatu. Muita virhelähteitä on tietenkin koehenkilöiden motivaatio testitilanteessa ja muut ulkoiset tekijät, kuten se että sattui juoksuradalla olemaan testin aikana ulkopuolisia henkilöitä. Rata pyrittiin pitämään mahdollisimman tyhjänä testijuoksun aikana, mutta jokaisessa juoksussa tämä ei onnistunut täydellisesti. Suurin virhelähde tilastollisissa analyyseissa oli kuitenkin koehenkilöiden määrä (n=6), joka jäi valitettavasti pieneksi viime hetken peruutuksien vuoksi.

Johtopäätökset ja jatkotutkimukset. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että lyhyellä beeta-alaniinin käyttökaksolla ei ole vaikutuksia 600 metrin juoksusuoritukseen eikä fysiologisiin muuttujiin tilastolliselta näkökannalta katsottuna. Tulokset antoivat kuitenkin viitteitä siitä, että beeta-alaniinilla saattaa olla jonkinlaisia vaikutuksia fysiologisiin muuttujiin. Suurin mielenkiinto kohdistui testosteroni-kortisolisuhteen käyttäytymiseen ja mahdolliseen Na⁺-K⁺-ATPaasiaktiivisuuteen. Beeta-alaniinin vaikutuksia edellä mainittuihin muuttujiin löytyy erittäin vähän tutkimusnäyttöä, joten jatkotutkimukset voisivat keskittyä hormonitasapainoon ja Na⁺-K⁺-pumpun toimintaan. Etenkin testosteroni-kortisolisuhteen PRE-näytteen anabolisempi tila beeta-alaniiniryhmällä viittaisi siihen, että

hyvänä tutkimusaiheena voisi olla esimerkiksi beeta-alaniinin vaikutus pitkäkestoisilla fyysisesti kuormittavilla harjoittelujaksolla.

7 LÄHTEET

- Abe, H. 2000. Role of histidine-related compounds as intracellular proton buffering constituents in vertebrate muscle. *Biochemist. (Mosc)*, 65:757-765.
- Alaranta, A., Hulmi, J., Mikkonen, J., Rossi, J. & Mero, A. 2007. Lääkkeet ja lisäravinteet urheilussa. *Nutrimed Oy, Gummerus Kirjapaino Oy*, 254-259.
- Baguet, A., Reyngoudt, H., Pottier, A., Everaert, I., Callens, S., Acten, E. & Derave, W. 2009. Carnosine loading and washout in human skeletal muscles. *Journal Applied Physiology* 106: 837-842.
- Baguet, A., Bourgois, J., Vanhee, L., Achten, E. & Deravere, W. 2010. Important role of muscle carnosine in rowing performance. *Journal Applied Physiology* 109, 1096-1101.
- Daly, W. ym. 2004. Relationship Between Stress Hormones and Testosterone with Prolonged Endurance Exercise. *European Journal of Applied Physiology* 93: 375-380.
- Derawe, W., Özdemir, M., Harris, R., Pottier, A., Reyngoudt, H., Koppo, K., Wise, J. & Achten, E. 2007. Beta-Alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *Journal of Applied Physiology*, 103:1736-1743.
- Dunnet, M. & Harris, R.C. 1997. High-performance liquid chromatographic determination of imidazole dipeptides, histidine, 1-methylhistidine and 3-methylhistidine in equine and camel muscle and individual muscle fibers. *Journal Chromatogr Biomed Applied Sciences*, 688; 47-55.
- Dunnet, M. & Harris, RC. 1995. Carnosine and taurine contents of different fibre types in the middle gluteal muscle of the Thoroughbred horse. *Equine Vet Journal* 18, Suppl: 214-217.
- Ducker, K., Dawson, B. & Wallman, K. 2013. Effect of Beta-Alanine Supplementation on 800-m Running Performance. *International Journal Of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 23, 554-561.

- Dutka, T. & Lamb, G. 2004. Effect of carnosine on excitation-contraction coupling in mechanically-skinned rat skeletal muscle. *Journal muscle resistance cell motility*, 25, 203-213.
- Guyton, A.C & Hall, J.E. 2006. *Textbook of Medical Physiology*. Elsevier Saunders, Philadelphia, 384-395.
- Harris, R.C., Tallon, M., Dunnet, M., Boobis, L., Coakley, J., Kim, H.J., Fallowfield, J.L., Hill, C.A., Sale, C. & Wise, J.A. 2006. The absorption of orally supplied beta-alanine and its effects on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids*, 30: 279-289.
- Hill, C., Harris, R., Kim, H., Harris, B., Sale, C., Boobis, L., Kim, C. & Wise, J. 2007. Influence of B-alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids* 32: 225-233.
- Hobson, R., Harris, R., Martin, D., Smith, P., Macklin, B., Gualano, B. & Sale, G. 2013. Effect of Beta-Alanine with and without sodium bicarbonate on 2000-m rowing performance. *International Journal of sport nutrition and exercise metabolism*.
- Hoffman J., Ratamess N.A., Ross R., Kang J., Magrelli J., Neese K., Faigenbaum A.D. & Wise J.A. 2008. B-Alanine and the Hormonal Response to Exercise. *International Journal Sports Medicine* 29: 952-958.
- Hoffman, J., Ratamess, N., Kand, J., Mangine, G., Faigenbaum, A. & Stout, J. 2006. Effect of creatine and beta-alanine supplementation on performance and endocrine responses in strength/power athletes. *International Journal Sport Nutrition Metabolis*. 16(4): 430-46.
- Hobson, R., Saunders, B., Ball, G., Harris, R.C. & Sale, C. 2012. Effects of b-alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis. *Amino Acids* online January.
- Juel, C. 2000. Expression of the Na⁺/H⁺ exchanger isoform NHE1 in rat skeletal muscle and effect of training. *Acta physiol scand*, 170, 59-63.

- Kenney, W.L., Wilmore, J.H. & Costill, D.L. 2012. Physiology of sport and exercise. Human kinetics, Fifth Edition, s40-41.
- Ljubijankic, N., Popović-Javorić, R., Šćeta, S., Sapcanin, A., Tahirović, I. & Sofić, E. 2008. Daily Fluctuation of Cortisol in the Saliva and Serum of Healthy Persons. *Bosnian Journal of Basic Medical Sciences*. 8 (2):110-115.
- Mannion, A.F., Jakeman, P.M., Dunnet, M., Harris, R.C. & Willan P.L. 1992. Carnosine and anserine concentrations in the quadriceps femoris muscle of healthy humans. *European Journal Applied Physiology*. 64 (1): 47-50.
- Mero, A., Hirvonen, P., Saarela, J., Hulmi, J., Hoffman, J. & Stout, J. 2013. Effect of sodium bicarbonate and beta-alanine supplementation on maximal sprint swimming. *Journal of the international society of sports nutrition*, 10:52.
- Mero, A., Nummela, A., Keskinen, A. & Häkkinen, K. 2007. *Urheiluvallmennus. Gummeruksen kirjapaino*, s100-101.
- McArdle, W., Katch., F. & Katch, W. 2010. *Exercise physiology*. Lippincot Williams & Willkins, USA.
- Newsholme, E.A., Blomstrand, E., Ekblom, B. 1992. Physical and mental fatigue: metabolic mechanism and importance of plasma amino acids. *British Medical Bulletin* 48, 477 – 495.
- Painelli, V.S., Roschel, H., Jesus, F., Sale, G., Harris, R.C., Solis, M.T., Benatti, F.B., Gualano, B., Lanca, A.H. & Artioli, G.G. 2012. The ergogenic effect of beta-alanine combined with sodium bicarbonate on high-intensity swimming performance. *Applied Physiology Nutrition*, 38: 525-532.
- Park, Y.J. 2005. Quantatification of carnosine in humans plasma after fietary consumption of beef. *Journal Agric food Chemistry*, 53: 4736-4739.
- Shiffer, J. 2012. The 400m Hurdles. *New Studies in Athletics*, 27:1; 9-24.

- Slepkov, E. & Fliegel, L. 2002. Structure and function of the NHE1 isoform of the Na⁺/H⁺ exchanger. *Biochem Cell Biol.* 80(5): 499-508.
- Sostaric, S., Skinner, S., Brown, B., Sangkabutra, T., Medved, I., Medley, T., Selig, S., Fairweather, I., Rutar, D. & Mckenna, M. 2006. Alkalosis increases muscle K⁺ release, but lowers plasma and delays fatigue during dynamic forearm exercise. *J Physiol*, 570: 185-205.
- Stut, J.R., Cramer, J.T, Mielke, M., O’Kroy, J., Torok, D.J. & Zoeller, R.F. 2006. Effects of twenty-eight days of beta-alanine and creatine monohydrate supplementation on the physical working capacity at neuromuscular fatigue threshold. *Journal of strength and conditioning research*, 2006, 20 (4), 928-931.
- Tallon, M., Harris, R., Boogis, L., Fallowfield, J. & Wise, J. 2005. The carnosine content of vastus lateralis is elevated in resistance trained bodybuilders. *Journal Strength Con Res.* 19, 725-279.
- Volek, J.S. 1997. Testosterone and Cortisol in Relationship to Dietary Nutrients and Resistance Exercise. *Journal of Applied Physiology* 82: 49-51.