

**BEETA-ALANIININ NAUTTIMISEN VAIKUTUKSET VEREN
pH- JA LAKTAATTIARVOIHIN SEKÄ FYYSISEEN SUORI-
TUSKYKYYN**

Saana Saltevo

Liikuntafysiologia
Kandidaattitutkielma
LFY.A005
Kesä 2008
Jyväskylän yliopisto
Liikuntabiologian laitos
Työn ohjaaja: Antti Mero

TIIVISTELMÄ

Saltevo, Saana Sinikka. Liikuntafysiologian kandidaattitutkielma. Kesä 2008. Beeta-alaniinin nauttimisen vaikutukset veren pH- ja laktaattiarvoihin sekä fyysiseen suorituskykyyn. 41 s.

Beeta-alaniini muodostaa lihaskudoksessa karnosiinia, joka on lihaksen tärkeimpiä puskureita. Korkeaintensiteettisessä suorituksessa lihaksen pH:n laskun minimointi saattaisi olla hyödyksi lihassupistuksen optimaalisen toiminnan kannalta. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää vaikuttaako beeta-alaniini veren happamuuteen, laktaattiin ja fyysiseen suorituskykyyn. Tutkimukseen osallistui viisitoista jyvaskyläläistä miesjalkapalloilijaa (21.3 ± 2.8 v.). Koehenkilöt jaettiin kahteen ryhmään, joista toiset ($n = 8$) nauttivat beeta-alaniinia 1.5 g kolmesti vuorokaudessa (yhteensä 4.5 g vuorokaudessa) ja toiset ($n = 7$) vastaavasti plaseboa. Tutkimus koostui identtisistä alku- ja loppumittauksista sekä näiden välisestä neljän viikon latausjaksosta, jolloin koehenkilöt harjoittelivat joukkueen harjoitusohjelman mukaisesti. Mittauksissa koehenkilöiltä mitattiin aamupäivällä pieni verenkuvaa, antropometria, 5-loikka, kevennyshyppy, 20 m:n juoksu ja 400 m:n juoksu. Verinäytteet puskuroinnin keskeisiä fysiologisia muuttujia varten otettiin ennen juoksua (pre), minuutti juoksun jälkeen (post1), viiden minuutin kuluttua (post 5) ja 30 minuutin kuluttua (post 30). Niistä analysoitiin pH ja laktaatti. Iltapäivällä mitattiin lihasvoimasta maksimi- ja kestovoima (50 % 1 RM:stä) penkkipunnerruksessa ja jalkakyykyssä. Tutkimuksen tuloksissa ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja missään muuttujassa beeta-alaniiniryhmän ja kontrolliryhmän välillä. Sen sijaan 400 m:n juoksu-aika lähestyi merkitsevää ($p = 0.086$) beeta-alaniiniryhmän sisällä alku- ja loppumittausten välisessä muutoksessa (parannus Δ ka -1.21 ± 1.60 s). Beeta-alaniiniryhmällä fysiologiset muutokset eivät olleet myöskään merkitseviä; veren happamuus ja laktaattiarvot kasvoivat hiukan 400 m:n juoksun jälkeen yhdistetyissä (alku- ja loppumittaukset) verinäytteissä, mikä voi antaa viitteitä lihasten parantuneesta puskurointikyvystä. Voima- ja nopeusominaisuuksissa tilastollisesti merkitsevää parannusta tapahtui vain 5-loikassa molempien ryhmien sisällä. Beeta-alaniini ei tämän tutkimuksen valossa vaikuta veren happamuuteen, laktaattiin tai fyysiseen suorituskykyyn.

Avainsanat: karnosiini, puskuri, pH, laktaatti, suorituskyky, jalkapalloilija

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO.....	4
2	KIRJALLISUUSKATSAUS.....	5
	2.1 Beeta-alaniinin kemialliset ominaisuudet.....	5
	2.2 Happamuuden säätely ja lihassupistus.....	6
	2.3 Anaerobinen kestävyys.....	8
	2.4 Lihaksen voimantuotto-ominaisuudet.....	9
	2.5 Karnosiini.....	9
	2.5.1 Beeta-alaniinin ja karnosiinin yhteys.....	9
	2.5.2 Karnosiini ja lihassupistus.....	10
	2.5.3 Karnosiini antioksidanttina.....	10
	2.6 Lihasten karnosiinipitoisuus.....	11
	2.6.1. Karnosiinipitoisuuden luonnolliset variaatiot.....	11
	2.6.2 Beeta-alaniini -supplementaation nauttimisen vaikutukset lihaksen karnosini-pitoisuuteen	12
	2.7 Beeta-alaniinin vaikutukset fyysiseen suorituskyyyn.....	12
	2.7.1 Anaerobinen suorituskyy.....	12
	2.7.2 Lihasten voimantuotto.....	13
	2.7.3 Kestävyyssuorituskyy.....	14

3	TUTKIMUKSEN TARKOITUS, ONGELMAT JA HYPOTEEESIT.....	16
4	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	18
	4.1 Koehenkilöt.....	18
	4.2 Koeasetelma.....	19
	4.3 Aineiston keräys ja analysointi.....	20
	4.4 Tilastolliset menetelmät.....	21
5	TULOKSET.....	22
	5.1 Antropometriset ominaisuudet ja perusverenkuva.....	22
	5.2 400 m:n aika, laktaatti ja pH.....	23
	5.3 Voima- ja nopeusominaisuudet.....	29
	5.4 Toteutunut harjoitusohjelma.....	31
6	POHDINTA.....	32
7	LÄHTEET.....	36

1 JOHDANTO

Beeta-alaniinista, luonnon ainoasta beeta-muotoisesta aminohaposta (Stout 2005), on tehty viime vuosina monia tutkimuksia, joiden valossa se vaikuttaisi hyvinkin potentiaaliselta suorituskyvyn parantajalta käytettäessä useita viikkoja harjoittelujaksoilla. Hyötyjä on pystytty osoittamaan sekä kestävyys-, teho- että voimaurheilijoilla, mikä ei ole tavanomaista yhdeltä ainoalta lisäravinteelta. Urheilijat ovat pystyneet beeta-alaniin käytön jälkeen siirtämään väsytyksynnystään (Stout ym. 2007), saamaan suurempia tehoja irti (Hill ym. 2006) sekä parantamaan maksimaalista

tulostaan penkkipunnerruksessa ja jalkakyykyssä (Hoffman ym. 2006). Beeta-alaniini kasvattaa suuresti lihaksen karnosiinipitoisuutta (Hill ym. 2006, Derawe ym. 2007) ja mahdollistaa näin paremman puskurointikyvyn happamuutta vastaan. pH:n lasku lihaksissa on eräs lihassupistusta estävä harmillinen tekijä (esim. Ibanez ym. 1995), ja sen eliminoiminen luonnollisesti kiinnostaa useiden lajien urheilijoita.

Kuitenkin osassa tutkimuksia ei ole saatu minkäänlaista näyttöä beeta-alaniinin vaikutuksista ja julkaisuja on sen verran vähän, ettei kiistatonta varmuutta kyseisen lisäravinteen suorituskykyä nostavasta vaikutuksesta vielä ole. Osan ihmisistä (noin 20 %) on myös epäilty olevan ns. "non-respondereja", eli he eivät olisi vastaanottavaisia beeta-alaniinin hyödyille (Alaranta ym. 2007). Ihon kihelmöinti ja yliherkkyys estävät myös joitakin nauttimasta suplementaatioita tarpeeksi suuria määriä, jotta positiiviset vaikutukset olisivat tarpeeksi vakuuttavia (Harris ym. 2005). Beeta-alaniinia käsittelevien tutkimusten määrä on vielä verrattain pieni, joten lisätutkimuksia tarvitaan vielä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia beeta-alaniinin vaikutuksia puskuroinnin keskeisiin fysiologisiin muuttujiin ja sitä kautta mahdollisesti parantuneeseen fyysiseen suorituskykyyn jalkapalloilijoilla.

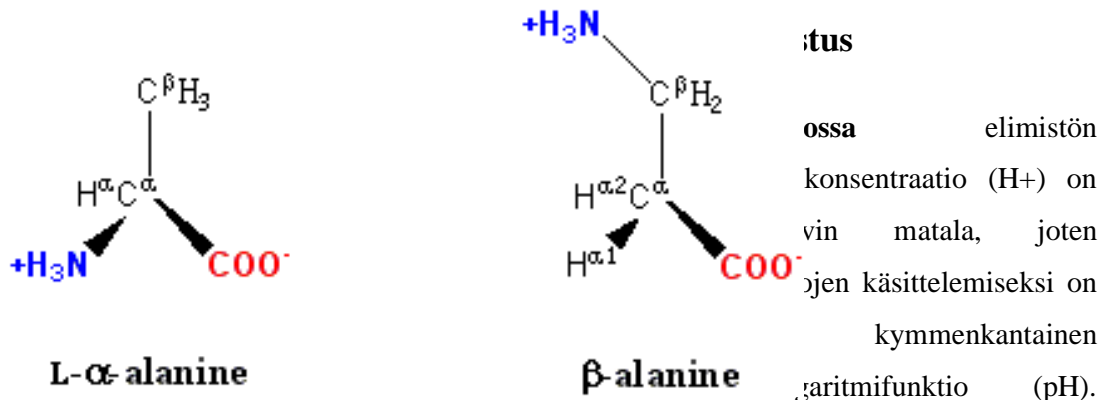
2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Beeta-alaniinin kemialliset ominaisuudet

Beeta-alaniini eli 3-propionihappo on ei-välttämätön aminohappo, jonka aminoryhmä on nimensä mukaisesti beeta-asemassa eli 3. hiilessä (kuvio 1). Huomattavasti yleisempi aminohappomuoto on alfa, jolloin aminoryhmä on toisessa hiilessä kiinni. Beeta-alaniini onkin ainoa ravinnossa esiintyvä beeta-aminohappo, eikä sitä käytetä proteiinisynteesiin. Beeta-alaniinia voi nauttia lisäravinteena, mutta sitä saa myös

tavallisesta proteiinipitoisesta liharuusta, kuten kanasta, naudanlihasta tai kalasta, ja ihmisen maksa pystyy myös valmistamaan sitä pyrimidine nukleotidien kataboliatuotteista, jotka pilkotaan ensin urasiiliksi ja tymiiniksi ja syntetisoidaan beeta-alaniiniksi (Stout 2005). Aminohaposta syntetisoidaan karnosiinia ja se toimii myös prekursorina tauriinille, kysteinille ja substraattina glutationille GSH (Lee & Kim 2006). Karnosiini on lihaksen tärkein puskuri (Guyton & Hall 2000). Beeta-alaniinin siirtymismekanismeja soluun tunnetaan vielä melko heikosti, siirtyminen lihassoluun vaatii ainakin yhden kloridi-ionin ja kaksi natriumionia (Alaranta ym. 2007). Liian suurina kerta-annoksina nautittuna beeta-alaniini saattaa aiheuttaa joillekin ihon kihelmöintiä ja kutinaa (Harris ym. 2005)

KUVIO 1. Alfa- ja beeta-alaniini

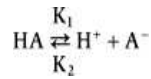


Kaava happamuuden laskemiseksi on $\text{pH} = -\log(10) [\text{H}^+]$ (kuvio 2). Elimistö pyrkii happo-emästasapainoa säätelämällä säilyttämään delekaatin pH:n kehossa, mikä on välttämätöntä proteiinien, mm. aktiinin ja myosiinin, entsyymien sekä eri elinten

toiminnoille. (Guyton & Hall 2000). Lähes kaikissa solutyypeissä, kuten lepotilassa olevissa luurankolihaksissa, sisäinen pH -arvo pidetään tasaisen alkalisena eli hiukan emäksisenä. Metabolinen aktiivisuus tuottaa vetyioneja, mutta aktiivinen solukalvon kuljetussysteemi solukalvon läpi tasoittaa syntynyttä happamuutta. Lihaksen pH:n säätelyyn tarvittavat kuljettajat eli transportterit ovat levossa (pH 7) Na^+/H^+ vaihtosysteemi sekä Na^+ -riippuvainen sekä Na^+ -riippumaton Cl^- vetykarbonaatti (usein käytetään myös nimeä bikarbonaatti) kuljetus. (Juel 1998).

Intensiivisessä harjoituksessa lihakseen syntyy huomattavasti H^+ -ioneja rasittamaan lihassupistusjärjestelmää. Happamuus muuttuu metabolisen aktiivisuuden lisääntyessä, koska 1) CO_2 ja HCO_3^- lisääntyvät kasvavan oksidatiivisen aktiivisuuden myötä, 2) H^+ otetaan käyttöön tai vapautetaan PCr metaboliassa sekä 3) suuret määrät laktaattia ja vetyioneja voidaan muuntaa glykolyysin lopputuotteiksi. Kaikkein tärkein osa raskaassa harjoituksessa on laktaatti/ H^+ co-transportterisysteemillä, jonka määrittää lihaksen laktaattigradientti. (Juel 1998). H^+ virtaus laktaatti/protoni co-transportterilla on rottakokeissa huomattavasti korkeampi (240 nmol H^+/mg proteiini/min) kuin Na^+/H^+ systeemin (33 nmol/mg/min) avulla. Laktaatti transportaation inhibiatio johtaa lihasten asidoosiin ja ennenaikaiseen väsymykseen, mutta muiden systeemien inhibitiolla ei ole vaikutuksia lihassupistukseen. Laktaatti/ H^+ systeemi on huomattavasti korkeammalla tasolla hitaissa tyypin I kuin nopeissa tyypin II lihassoluissa, joten myös happamuuden säätely on tehokkaampaa hitaissa lihassoluissa. (Juel 1995). Matalatehoisessa kuormituksessa happamuuden säätelystä huolehtivat muut kuin laktaatti/ H^+ co-transportterisysteemi, sillä laktaattigradientti pysyy alhaisena. Tällöin laktaatista riippumattomat systeemit, Na^+/H^+ -systeemi, huolehtivat pH-tasapainosta. Huomattavasti harjoitelleilla urheilijoilla laktaatti/ H^+ systeemi on normaalia kehittyneempi, mutta H^+ vapautumiseen vaikuttaa myös harjoituksen aiheuttamat muut muutokset, kuten kapilarisaatio sekä paikallisen verenvirtauksen lisääntyminen. Lopullisen happamuuden säätelyn hoitavat kuitenkin puskuriaineet. (Juel 1998)

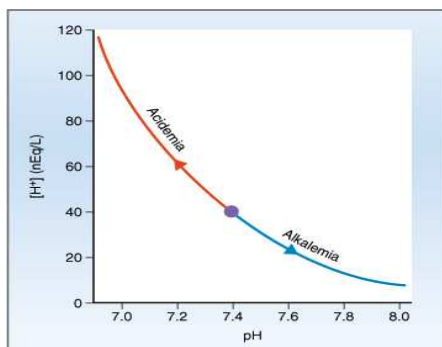
Puskuri on mikä tahansa aine, joka kykynee sitomaan itseensä vety-ioneja ja näin minimoimaan happamuuden muutokset veressä tai lihaksissa. Systeemit eivät eliminoi vetyioneja, vaan sitovat tai luovuttavat niitä haastetilan mukaan. Puskurointia tarkastellaan yleensä seuraavalla yhtälöllä:



. Yhtälö on reversiibeli tasapainoyhtälö, jossa heikkoa happoa (HA) dissosioituu vetyioniksi dissosiaatiovakionsa K_1 mukaisesti. Puskuriliuoksen pH lasketaan Hendersson-Hasselbachin kaavalla:

$$\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

, jossa $\text{pK} = -\log(10) K$, $[\text{A}^-]$ = emäksen konsentraatio ja $[\text{HA}]$ = hapon konsentraatio. Aineen puskurointikyky on maksimissaan silloin kun pKa on ± 1 pH. Veressä tärkeimpiä puskureita ovat vetykarbonaatit, fosfaatit sekä proteiinit (hemoglobiini) ja lihaksessa taas karnosiini ja anseriini. (Guyton & Hall 2002). Beetaalaniini muodostaa lihaksessa karnosiinia, jonka pKa -arvo on optimaalinen 6.83 (Alaranta 2008). Intensiivisellä harjoittelulla voidaan parantaa lihasten puskurointikykyä mm. lisäämällä puskuriproteiineja. Aktiivisesti harjoitelleilla urheilijoilla kertyy usein lihaksiin vähemmän laktaattia kuin harjoittelemattomilla eli parantunut puskurointikyky ei välttämättä johtuisi ainoastaan lisääntyneestä laktaatin kerääntymisestä. Lihaksen pH:n ja lihasväsymyksen korrelaatio ei siis ole täysin suoraviivainen vaikka usein osoitetaan, että happamuuden selkeä lisääntyminen pysäyttäisi lihassupistuksen täysin ja johtaisi totaaliseen uupumiseen vetyionien estäessä aktiini-myosiinisiltojen muodostumisen. (Juel 1998). Korkeammat laktaattipitoisuudet veressä ovat kuitenkin merkki lihaksen parantuneesta puskurointikyvystä ja lisääntyneestä anaerobisesta työtehosta (Ibanez ym. 1995).



© Elsevier. Costanzo: Physiology 3E www.studentconsult.com

KUVIO 2. H⁺ konsentraation ja pH:n suhde

2.3 Anaerobinen kestävyys

Anaerobista energiantuottoa tarvitaan maksimaalisella teholla suoritettussa lyhytkestoisessa suorituksessa, jolloin kehon energiantarve ylittää lihasten kapasiteetin tuottaa energiaa taloudellisemmin ja hitaammin hapen avulla aerobisesti. Tällöin lihasten täytyy tuottaa ATP:tä kreatiinifosfaatista sekä anaerobisen glykolyysin avulla. Kovatehoisen anaerobisen suorituksen aikana kehoon kertyy vetyioneja ja lihaksen pH laskee. Suoritusta pystyy parantamaan puskuroimalla lihaksia. (McArdle ym. 2007).

Anaerobisissa testeissä mitataan useimmiten anaerobista kapasiteettia, eli maksimaalista ATP:n määrää tuotettuna ilman happea, tai anaerobista tehoa, eli maksimaalista ATP:n tuottonopeutta. Tehoa mittaavat testit sisältävät useimmiten voima-nopeus-, vertikaaliset hyppy-, porras- ja/tai polkupyöraergometritestit. Tulokset korreloivat hyvin huolimatta erilaisista testiprotokollista. Anaerobisen kapasiteetin mittaukset on jaettu happivelkaan eli EPOC:iin, all-out tai tasakuormituksiin ergometritesteihin, MAOD:in (maksimaalinen happivaje) mittaamiseen tai laktaattipiikin mittaamiseen verestä. Kaikissa mittauksissa on puutteensa, mutta MAODia on pidetty luotettavimpana. (Vandewalle ym. 1987).

2.4 Lihaksen voimantuotto-ominaisuudet

Lihaksen voimantuotto voidaan jakaa kolmeen alueeseen: 1) maksimivoima; lihasjännitystaso nousee huippuunsa ja voimantuottoaika on suhteellisen pitkä, 2) kestovoima; voimatasoa ylläpidetään tai toistetaan useasti, ja 3) nopeusvoima; suurin mahdollinen voimantuottonopeus (Keskinen ym. 2004).

1) Luotettavan maksimivoiman mittauksen edellytyksenä on liikkeiden tekniikan hallitseminen. Mittaus voidaan tehdä isometrisesti, joka on turvallinen, mutta ei lajispesifi tapa, tai dynaamisesti esim. levytangoilla tai standardoiduilla kuntosalilaitteilla. Useimmiten mitataan maksimaalista isoinertiaalista voimaa 1 RM

lähestymissarjojen avulla. 2) Lihaskestävyyttä voidaan mitata dynaamisilla aikarajoitteisilla toistotesteillä, maksimaalisilla toistotesteillä tai isometrisillä testeillä. Usein kuormana käytetään kehon omaa painoa tai vakioitua prosentuaalista osuutta 1 RM:stä. 3) Räjähävää nopeusvoimaa mitataan asyklisillä suorituksilla, kuten hyppyillä, heitoilla, lyönneillä tai potkaisuilla. (Keskinen ym. 2004)

2.5 Karnosiini

2.5.1 Beeta-alaniinin ja karnosiinin yhteys

Beeta-alaniinin suurimmat hyödyt urheilusuorituksia ajatellen saadaan sen lihasten karnosiinipitoisuutta lisäävän vaikutuksen takia (Harris ym. 2005). Suun kautta nautittu karnosiini eli beeta-alanyyli-L-histidiini hajoaa karnosinaasi-entsyymin katalysoimana beeta-alaniiniksi ja histidiiniksi (välttämätön aminohappo), jotka voivat siirtyä lihakseen ja resyntetisoitua takaisin karnosiiniksi karnosinesyntetaasin avulla. Ainoastaan keskimäärin 40 % karnosiinista on beeta-alaniinia, joka on siis pullonkaulakomponentti reaktiolle (Stout 2005). Lihaksessa on hyvin matala konsentraatio puhdasta beeta-alaniinia, vain 1,3-2,3 mikromoolia (Tallon ym. 2005). Karnosiinia löytyy eniten lihassoluista ja hermosoluista (Begum ym. 2005).

2.5.2 Karnosiini ja lihassupistus

Karnosiinin tärkeimpiä tehtäviä on lihaksen puskurointi raskaan lihassuorituksen aikana (Begum ym. 2005, Tallon ym. 2005, Stout ym. 2007). Karnosiini on harvinaisen optimaalinen puskuri lihasolujen neutraalia pH:ta sivuavan pKa -arvonsa (6,83) ansiosta, joten se pystyy lähes yhtä tehokkaasti reagoimaan sekä happamiin että emäksisiin tuotteisiin (Alaranta ym. 2007). Intraselulaarisen pH:n muutoksia, muita kuin bikarbonaatteja, yhdistää imidatsoli-ryhmä, joka löytyy histidiinijäänteistä kuten karnosiinista. Imidatsolin kaksi typpiryhmää voivat luovuttaa tai vastaanottaa vetyioneja tehokkaasti (Begum ym. 2005). Karnosiinin puskurointikapasiteetin merkityksestä on ollut hieman ristiriitaisia tuloksia, mm. vuonna 1962 julkaistussa Daveyn johtamassa

tutkimuksessa jopa 40 % lihaksen puskuroinnista olisi karnosiinin ansiota kun taas kolmekymmentä vuotta myöhemmin Mannionin tutkimusryhmä vuonna 1992 väitti, että vain 7 % koko puskurikapasiteetista tulevan karnosiinista (Begum ym. 2005) ja vuoteen 2005 tultaessa Tallonin tutkimusryhmä arvioi prosentuaaliseksi kapasiteetiksi noin 20 % (Tallon ym. 2005). Karnosiini osallistuu myös kalsiumkanavien herkkyyden säätelyyn, ja lisääntynyt aktiivisuus mahdollistaa luultavasti voimatason säilymisen kohtuullisella tasolla väsyneissäkin lihaksissa (Dutka & Lamb 2004). Stout ryhmään tutki täydellistä väsytystä, jolloin time-to-exhaustion polkupyörätestissä väsytyssynnystä saatiin nauttimalla beeta-alaninisupplementaatiota (156,8 g/28 vrk) siirrettyä lähes 30 sekuntia ($p < 0,05$) ja lopullisen kuorman wattimäärä nousi 12,6 %. (Stout ym. 2006)

2.5.3 Karnosiini antioksidanttina

Rankalla harjoittelukaudella keho joutuu oksidatiivisen stressin alaiseksi. Happiradikaalien vapautumiseen vaikuttaa mm. 1) lisääntynyt elektroninsiirtoketjun aktiivisuus, 2) ADP:n intrasellulaarisen konsentraation, katabolian ja xanthine oksidaasin kasvu sekä 3) pH:n laskun aiheuttama hapen vapautuminen hemoglobiinista ja hapen osapaineen kasvun kudoksissa. Karnosiini toimii lihaksissa antioksidanttina sitomalla vapaita radikaaleja ja kelatoimalla metalleja (Cu^{2+}) parantaen näinkin väsymyskynnystä sekä palautumista (Begum ym. 2005). Vapaat radikaalit inhiboivat myös sarkoplasmisen retikulumin kalsium-ATP -aasia, jolloin lihas ei pysty supistumaan tai relaksoitumaan täysin (Dutka & Lamb 2004). Beeta-alaniinin nauttiminen ainakin hiirillä vähensi CCl_4 hepatoksisuutta ja nosti kysteiinipitoisuutta selkeästi (Lee & Kim 2006). Karnosiini toimii puskuroinnin sekä antioksidanti ominaisuuksien lisäksi myös entsyymien säännöstellijänä sekä proteiinien glykosylaation että proteiini-proteiini cross-linking inhibiittorina (Begum ym. 2005).

2.6. Lihasten karnosiinipitoisuus

Beeta-alaniinin vaikutukset sekä kestävyysuorituskykyyn että voimantuottoon selittyvät voimakkaasti lihasten karnosiinikonsentraation kasvamisella (Harris ym.

2006, Hill ym. 2006, Derawe ym. 2007); lihasten karnosiinipitoisuuden ja fyysisen suorituskyvyn välillä havaitaan selkeä korrelaatio (Suzuki ym. 2002).

2.6.1 Karnosiinipitoisuuden luonnolliset variaatiot

Ihmisillä on lihaksissaan karnosiinia keskimäärin 20 mmol kuivapainokiloa kohden ja nopeissa II -tyypin soluissa lähes puolet (Begum ym. 2005) tai jopa 4-5 -kertaisesti (Hill ym. 2006) enemmän kuin hitaissa I -tyypin soluissa. Kehonrakentajilla ja voimailijoilla (Tallon ym. 2005) sekä räjähtävien nopeuslajien urheilijoilla on luonnostaan korkeammat lihasten karnosiinipitoisuudet kuin esim. maratoonareilla lajin luonteen takia (Hill ym. 2006). Nopeuslajien huipulle tosin useimmiten karsiutuvat ihmiset, joilla on geeniperimänään jo suhteessa enemmän nopeita lihassoluja kuin hitaita (Alaranta ym. 2007), mutta intensiivinen voimaharjoittelukin kasvattaa ainakin vastus lateraliksen karnosiinipitoisuuden kaksinkertaiseksi (Suzuki ym. 2002). Myös ruokavalio voi vaikuttaa asiaan, etenkin kehorakentajilla vähärasvainen, mutta runsaasti proteiinia sisältävä liha, on tärkeä päivittäinen energianlähde. Erilaiset ravintolisät sekä anaboliset steroidit saattavat myös vaikuttaa siihen, että vastus lateraliksen karnosiinipitoisuus on kehonrakentajilla “luonnostaan” lähes kaksinkertainen (40 mmol/kg DW) harjoittelemattomiin verrattuna. Räjähtävät ominaisuudet, anaerobinen kestävyys ja kehittynyt puskurikapasiteetti lihasväsymyksen minimoimiseksi ovatkin harjoittelun ohella tärkeimpiä ominaisuuksia nopeuskestävyyslajeissa (Tallon ym. 2005).

2.6.2 Beeta-alaniini -supplementaation nauttimisen vaikutukset lihaksen karnosiinipitoisuuteen

Lihasten karnosiinipitoisuuden lisääntyminen beeta-alaniini supplementaatiota nauttimalla on ollut runsasta viimeisimmissä tutkimuksissa. Hillin tutkimusryhmä (2006) havaitsi 4. viikossa (20,8 g b-alaniinia) jopa 58,8 % ja 10. viikossa (146 g b-alaniinia) jopa 80,1 % kasvun vastus lateraliksen lihasbiopsiassa. Harrisin ym. (2006) ryhmässä taas karnosiinipitoisuus vastus lateraliksessa lisääntyi neljän viikon aikana (145,6 g b-alaniinia) 64,2 %. Kumpikaan tutkimusryhmästä ei löytänyt eroja nopeiden ja hitaiden lihassolutyyppien karnosiinipitoisuuden muutoksissa, vaikka lähtöarvot olivat huomattavasti suuremmat nopeissa lihassoluissa. Derawe ym. (2007) taas valitsi tutkittaviksi lihaksiksi gastrocnemiuksen ja soleuksen, joissa neljän viikon (134,4 g b-

alaniinia) jälkeen karnosiinipitoisuudet olivat kasvaneet keskimäärin 37 % ja 47 %. Karnosiinin toisen peptidiosan, histidiinin, nauttimisella ei juurikaan ole merkitystä lihasten karnosiinipitoisuuksien (Dunnet & Harris 1999). Yksilöiden välillä on kuitenkin selkeitä eroja karnosiini-pitoisuuksien suurenemisissa; toisilla beeta-alaniinin ja/tai karnosiinin nauttimisella ei ollut mitään vaikutuksia ja toisilla taas karnosiinivarastot jopa kolminkertaistuivat. Beeta-alaniinista hyötymättömiä “non-respondereja” saattaa olla noin 20 % urheilijoista. (Zoeller ym. 2007).

2.7 Beeta-alaniinin vaikutukset fyysiseen suorituskyyyn

2.7.1. Anaerobinen suorituskyyky

Anaerobisissa suorituksissa lihaksen happamuus lisääntyy, jolloin puskuriaineista voi olla potentiaalista hyötyä (Ibanez ym. 1995). Hillin ym. (2006) polkupyöräergometrillä suoritettussa maksimaalisessa noin 150 sekunnin testissä beeta-alaniini paransi kokonaistyömäärää (TWD) sekä uupumisaikaa (TTE) selkeästi. Päiväannokset vaihtelivat 4,0-6,4 g ja kokonaisaika 4 vko tai 10 vko. Suorituskyyky parani entisestään supplementin nauttimisen jatkuessa pidempään; TWD parani 4. viikossa 13,0 % ja 10. viikossa 16,2 % sekä TTE kasvoi 7,5 % ja 10,2 % vastaavasti. (Hill ym. 2006). Wingaten testitulokset tai 20 esikevennetyn hypyn tehot eivät kuitenkaan parantuneet juurikaan 3,2 g/vrk 10 viikon kuurin jälkeen verrattuna kontrolliryhmään, vaikka anaerobisen kapasiteetin on monissa muissa tutkimuksissa todistettu tai spekuloitu parantuneen. (Hoffman ym. 2006). Suurempien lihasten karnosiinipitoisuuksien on kuitenkin todistettu olevan yhteydessä Wingaten testin suurempiin tehoihin (Suzuki ym. 2005). 400 m. juoksuaikoja taas ei pystytty parantamaan beeta-alaniinin nauttimisella 2,4-4,8 g/ vrk/ 4 vko. vaan huippujuoksijoilla tulokset jopa tippuivat 0,7 s. vaikka lihasten karnosiinipitoisuus nousi 22-89 % gastrocnemiuksessa ja soleuksessa (Derawe ym. 2007).

2.7.2 Lihasten voimantuotto

Tallonin tutkimusryhmä (2005) osoitti, että kehonrakentajilla on “luonnostaan” korkeammat karnosiinipitoisuudet vastus lateraliksessaan verrattuna kontrolliryhmään. Ero oli jopa kaksinkertainen. (Tallon ym. 2005) Beeta-alaniini nostaa lihaksen karnosiinipitoisuutta, joten siitä on ajateltu olevan suuri hyöty lihasvoiman tuottamisen optimoimiseksi (Derawe ym. 2007, Harris ym. 2005, Hoffman ym. 2006, Stout 2005). Neljän viikon beeta-alaniini nauttimisen jälkeen (2,4-4,8 g/vrk) isokineettisen polviekstension voimantuotto kasvoi placeboryhmään verrattuna. Sarjoja tehtiin 5 x 30 maksimaalista supistusta ja suplementaation nauttineet pystyivät selkeään parannukseen kaikissa sarjoissa, kun kontrolliryhmä vain kahdessa ensimmäisessä rutistuksessa. Isometrinen lihaskestävyys, 45 % MVC, parantui ajallisesti hiukan, mutta ei kuitenkaan merkittävästi kontrolliin verrattuna. (Derawe ym. 2007). Hoffmanin ym. (2006) 10 viikon standardoidun voimaharjoittelututkimuksen jälkeen penkkipunnerrus- ja kyykkytulokset parantuivat kreatiini- (10,5 g/vrk) ja kreatiini- + beeta-alaniiniryhmällä (10,5 + 3,2 g/vrk) selkeästi verrattuna kontrolliryhmään. Voimaharjoittelu paransi oletetusti tuloksia kaikilla; penkkipunnerruksessa/kyykyssä tulokset paranivat K + B: + 23 kg/12 kg, K: + 22 kg/15 kg ja P: + 5 kg/7 kg. Suplementaatioita nauttineet olivat myös pystyneet harjoittelemaan hieman suuremmilla tehoilla. Endokriiniset voimaharjoitteluvasteet, joita samaisessa tutkimuksessa seurattiin, eivät juurikaan oletuksen vastaisesti muuttuneet. Ainoastaan testosteronin kasvu kreatiiniryhmällä oli merkittävä, kun taas kortisolissa, SHBG:ssä, GH:ssa tai IGF-1:ssa ei ollut juurikaan ryhmien välisiä eroja parantuneista voimantuotto-ominaisuuksista huolimatta. (Hoffman ym. 2006).

2.7.3 Kestävyysuorituskyky

Väsymiskynnys PWCft: Stoutin tutkimusryhmä on sekä vuosina 2006 että 2007 löytänyt vahvoja viitteitä siitä, että beeta-alaniini suplementaation nauttimisella on hyvin positiivisia vaikutuksia submaksimaaliseen suorituskykyyn, mutta ei niinkään maksimaaliseen hapenottokykyyn, verrattuna placeboa nauttineeseen kontrolliryhmään. Vuonna 2006 ryhmä keskittyi vain neuromuskulaariseen väsytykseen PWCft, jota mitattiin vertailemalla EMG RMS-amplitudeja vastus lateralikselta nousevalla kuormalla suoritettua pyöräergometritestissä. 28 päivän beeta-alaniinikuurin, 1,6 g/vrk, jälkeen PWCft:n wattimäärät nousivat merkittävästi 14,5 %. Myös kreatiini- + beeta-

alaniiniyhdistelmän (5,25 g/1.6 g/vrk) nauttiminen nosti tulosta 11,0 % verrattuna plasebo- tai pelkkään kreatiiniryhmään. (Stout ym. 2006). Seuraavana vuonna toistetun hieman laajemman tutkimuksen tulokset olivat hyvin samankaltaisia; 28 päivän beeta-alaniinin nauttimisen jälkeen PWCft lisääntyi 12.6 %. Annokset tosin olivat selkeästi suuremmat, ensimmäisellä viikolla 3,2 g/vrk ja kolmella seuraavalla 6,4 g/ vrk. (Stout ym. 2007).

Ventilaatio- ja laktaattikynnys, TTE-aika Stoutin ryhmä tutki 2007 polkupyöraegometrillä tehdyssä time-to-exhaustion (TTE) testissä, PWCTft:n lisäksi, myös muita aerobiseen kapasiteettiin vaikuttavia muuttujia. Tulokset olivat hyvinkin positiiviset ja beeta-alaniiniryhmän tulokset olivat selkeästi parantuneet verrattuna placeboryhmään. Ventilaatiokynnys (l/min) nousi 13,9 % ja TTE-aika lähes 30 s. eli 2,5 %. Maksimaaliseen hapenottokykyyn ei supplementin nauttimisella näyttänyt olevan lainkaan vaikutusta. (Stout ym. 2007). Zoellerin tutkimusryhmän 2007 julkaistussa artikkelissa lisäravinteina nautitiin karnosiinia, karnosiinia + beeta-alaniinia tai pelkkää beeta-alaniinia. Tulokset eivät olleet pelkän beeta-alaniinin (1,6 g/vrk) nauttimisen jälkeen yhtä valoisia kuin Stout ym. (2007) ryhmällä; ainoastaan wattimäärä, jolla laktaattikynnys saavutettiin oli kohonnut merkittävästä, 8,7 %. Myös TTE-ajassa oli selkeää parannusta, 33 s, mutta myös kontrolliryhmä kykeni lähes yhtä hyvään parannukseen. Ventilaatiokynnyksessä tai VO₂ huippuarvossa ei ollut muutoksia beeta-alaniiniryhmällä. Kreatiinia (5,25 g/vrk) nauttineet kohensivat suoritustaan ventilaatiokynnyksen wateissa sekä TTE-ajassa, mutta tehokkaimmaksi fyysisen suorituskyvyn parantajaksi nousi yhdistelmä kreatiinia ja beeta-alaniinia (5,25 g/vrk + 1,6 g/vrk), viidessä muuttujassa kahdeksasta tapahtui selkeää muutosta. Laktaattikynnyksessä (W, l/min (VO₂)) sekä ventilaatiokynnyksessä (W, l/min (VO₂), % VO₂peak) parannukset olivat selkeimpiä. (Zoeller ym. 2007). Zoellerin ryhmässä beeta-alaniini -annokset (1,6 g/vrk) olivat kuitenkin selkeästi pienempiä verrattuna Stoutin ryhmään (3,2 g/vrk/1. vko ja 6,4 g/vrk/2-4. vko), mikä saattaa selittää eroja samankaltaisissa muuttujissa.

3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, ONGELMAT

JA HYPOTEESIT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää onko beeta-alaniinin nauttimisella vaikutuksia puskuroinnin keskeisiin fysiologisiin muuttujiin ja sitä kautta mahdollisesti fyysiseen suorituskykyyn.

Ongelma 1. Voidaanko beeta-alaniinia nauttimalla vaikuttaa fysiologisiin muuttujiin, kuten veren happamuuteen ja laktaattiin, ja parantaa näin anaerobista suorituskykyä?

Hypoteesi 1. Beeta-alaniini lisää veren happamuutta fyysisessä rasituksessa ja parantaa anaerobista suorituskykyä.

Hill ym. (2006) tutkimuksessa beeta-alaniinin nauttiminen (4-6 g/vrk, 4-10 vko) paransi merkittävästi polkupyöräergometrillä tehtyä noin 150 sekunnin maksimaalista suorituksen tehoa sekä uupumisaikaa. Beeta-alaniini lisää lihasten karnosiinipitoisuutta, jonka on todistettu olevan yhteydessä Wingaten testin suurempiin tehoihin (Suzuki ym. 2005.) Maksimaalista 400 m:n juoksuaikaa ei kuitenkaan ole pystytty parantamaan beeta-alaniinilla (Derawe ym. 2007). Beeta-alaniinin vaikutusmekanismi solun puskuroinnissa on vielä epäselvä. Voidaan olettaa, että se pystyisi anaerobisessa suorituksessa karnosiinin lisäämisen kautta poistamaan vetyioneja ja laktaattia solusta ja lisäämään näiden määrää veressä, kuten tapahtuu esim. natriumvetykarbonaatin avulla puskuroitaessa.

Ongelma 2. Voidaanko beeta-alaniinin pitkäaikaisella käytöllä parantaa maksimi- ja kestovoimaa?

Hypoteesi 2. Beeta-alaniinin pitkäaikainen käyttö parantaa maksimi- ja kestovoimaa.

Beeta-alaniini kasvattaa lihasten tärkeimmän puskurin karnosiinin pitoisuutta, mistä on suuri hyöty lihasvoiman harjoittamisessa harjoittelujaksoilla (Derawe ym. 2007, Harris ym. 2005, Hoffman ym. 2006, Stout 2005). Hoffmanin ym:n (2006) tutkimuksessa beeta-alaniinin nauttiminen yhdistettynä voimaharjoitteluun paransi maksimivoimaa ja Derawe ym. (2007) osoittivat jalkojen kestovoiman paranemista.

Ongelma 3. Voidaanko beeta-alaniinin pitkäaikaisella käytöllä parantaa nopeutta ja nopeusvoimaa?

Aikaisempia tutkimuksia ei ole, joten mahdollisesta vaikutuksesta ei ole tietoa.

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

4.1 Koehenkilöt

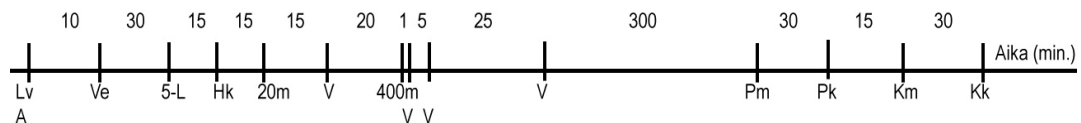
Tutkimukseen osallistuneet koehenkilöt (n=15, ikä 21.3 ± 2.8 v.) olivat miespuolisia jyväskyläläisiä jalkapalloilijoita. Pääasiallisesti ryhmä koostui 1 Divari-sarjaa pelaavista Jyväskylän Jalkapalloklubin (JJK) edustusjoukkueen pelaajista (n=9) ja loput koehenkilöt pelasivat joko JJK:n juniorijoukkueessa (n=4) tai 2 Divari-sarjaa pelaavassa Blackbirdseissä (n=2). Koehenkilöiden määrät mittausta kohden on esitetty taulukossa 1. Määrissä oli vaihtelua fyysistä rasitusta vaativissa testeissä loukkaantumisten takia. Antropometriset ominaisuudet mitattiin kaikilta. Koehenkilöt jaettiin beeta- (n = 8) ja placeboryhmään (n = 7) mittaamalla joukkueen, pelipaikan ja iän mukaan.

TAULUKKO 1. Koehenkilöiden lukumäärät tutkimuksen alku- ja loppumittauksissa.

Laji	Beeta		Placebo	
	Alku	Loppu	Alku	Loppu
400 m:n juoksu + verinäytteet	8	8	6	3
Penkkipunnerrus (1 RM + kesto)	8	8	7	6
Jalkakyykky (1 RM + kesto)	8	8	7	5
5-loikka	7	7	6	5
Kevennyshyppy	8	7	6	4
20 m:n juoksu	8	6	6	5

4.2 Koeasetelma

Tutkimus tehtiin maaliskuussa 2008 ja se koostui kahdesta mittauskerrasta, alku- ja loppumittauksesta. Mittausten välissä oli neljän viikon harjoittelu- ja latausjakso, jonka aikana koehenkilöt harjoittelivat normaalisti ja nauttivat joko beeta-alaniinia tai placeboa (maltodekstriini). Supplementit olivat jauhemaisessa muodossa, beeta-alaniinia (BetaPure™, Manninen Nutraceuticals Oy, Oulu) nautittiin 3 x 1.5 g / vrk ja maltodekstriinia (Manninen Nutraceuticals Oy) 3 x 0.65 g / vrk. Jauheet oli valmiiksi punnittu ja pakattu eppendorf -putkiin siten, että molempien jauheiden tilavuus oli sama (1.5 ml). Annokset ohjeistettiin sekoittamaan esim. mehuun tai maitoon ja nauttimaan aamulla, päivällä ja illalla tasaisin väliajoin. Fyysinen harjoittelu jatkui koehenkilöillä joukkueen harjoitusohjelman mukaisesti. Koehenkilöt täyttivät tutkimuksen ajalta harjoituspäiväkirjaa, jossa oli eriteltyinä laji- ja voimaharjoitukset sekä pelit. Harjoitusohjelman mukaan harjoituksia oli viikossa keskimäärin seuraavasti: lajipainotteinen harjoittelu 4 krt/ vko, voimaharjoittelu 2 krt/ vko ja peli 1 krt/ vko. Voimaharjoittelu oli nopeusvoimapainotteista sisältäen kuitenkin myös maksimivoimaa kehittäviä osioita. Mittausten päiväaikataulu on esitetty kuviossa 3. Koehenkilöiltä kerättiin myös ruokapäiväkirjat viiden päivän ajalta, mutta ne analysoidaan vasta myöhemmin.



KUVIO 3. Mittausten aikajana. Lv = lepoverinäyte, A = antropometria, Ve = verryttely, 5-L = 5-loikka, Hk = hyppy kevennyksellä, 20 m = 20 m:n juoksu, V = verinäyte, 400 m = 400 m:n juoksu, Pm = penkkimaksimi, Pk = penkkikesto, Km = kyykkymaksimi, Kk = kyykkykesto.

Testit suoritettiin yhteistyössä Tuomo Ojalan alfa-hicaa käsittelevän kandidaattityön kanssa. Placeboryhmämme oli yhteinen ja mittaukset sekä tulosten analysoinnin teimme yhteistyöllä.

4.3 Aineiston keräys ja analysointi

Aineisto kerättiin Jyväskylän Hipposhallissa, jossa alku- ja loppumittaukset toistettiin identtisinä.

Perusverenkuva. Aamulla ennen fyysistä rasitusta koehenkilöiltä otettiin verinäytteet pientä verenkuva varten. Laskimosta otettiin verta 4 ml:aa hepariiniputkeen; pH, laktaatti, glukoosi ja hemoglobiini analysoitiin koko verestä ja elektrolyytit sekä CK plasmasta. Tässä tutkimuksessa on esitetty ainoastaan pH, laktaatti ja pieni verenkuva. Glukoosi, elektrolyytit ja CK raportoidaan myöhemmin.

Antropometria. Aamupäivällä koehenkilöiltä mitattiin pituus ja paino. Rasvaprosentti mitattiin rasvapihdeillä ihopoimuista 4-pisteen menetelmällä, joka korreloi ihon todellisen rasvamäärän kanssa merkitsevästi (Durnin & Womersley 1974).

Verryttely. Kaikki koehenkilöt tekivät saman standardisoidun alkulämmittelyn ennen varsinaisia testejä. Koehenkilöt juoksivat ensin valojäniksen tahdittamana 1 km/ 5 min + 1 km/ 4min ja seuraavaksi oli venyttely ja pikajuoksuaukaisut (3 x 40 m).

Nopeus- ja nopeusvoima. Ensimmäisenä suoritettiin 5-vuoroloikka, jossa 0.05 m:n korokkeelta ponnistettiin tasaponnistuksella ja viimeinen hyppy hypättiin hiekkakasalle ja tulos mitattiin mittanauhalla 0.01 m:n tarkkuudella. Kevennyshyppy suoritettiin kontaktimaton päällä ja mattoon kiinnitetyn kellon antamasta nousuajasta laskettiin nousukorkeus kaavalla $h (m) = gt^2/8$. Hypyn aikana kädet pidettiin vyötäröllä ja ponnistuskulma haettiin oman mieltymyksen mukaisesti (noin 90 ° polvikulmasta) kuitenkin mahdollisimman samaksi joka kerralla. Nopeustestissä 20 m:n juoksuun juoksija lähti 70 cm:n päästä valokennoista. Yrityksiä oli jokaisessa testissä 2-4 sen mukaan, että todellinen maksimi saatiin suoritettua.

400 m:n juoksu. Koehenkilöt suorittivat maksimaalisen 400 m:n juoksun 200 m:n kallistetulla juoksuradalla. Kaksi ajanottajaa mittasi suoritusajan käsiajanotolla 0.01 sekunnin tarkkuudella

Verinäytteet. 400 m:n juoksun yhteydessä koehenkilöiltä otettiin verinäytteet. Ennen juoksua otettiin pre-näyte ja rasituksen jälkeen verikoe toistettiin välittömästi (post 1), viiden minuutin päästä (post 5) sekä 30 minuutin päästä (post 30). Kaikissa

verinäytteissä täytettiin yksi 4 ml:n hepariiniputki; pH, laktaatti, glukoosi ja hemoglobiini analysoitiin koko verestä ja elektrolyytit sekä CK plasmasta. Tässä tutkimuksessa on esitetty ainoastaan pH ja laktaatti. Glukoosi, elektrolyytit ja CK raportoidaan myöhemmin.

Voima. Iltapäivällä koehenkilöiltä mitattiin lihasten voimaominaisuuksia penkkipunnerruksessa ja Smith -laitteessa tehdyssä jalkakyykyssä. Penkkipunnerruksen jokainen koehenkilö suoritti omalla totutulla tavalla. Kyykyssä polvikulma oli standardoitu 0.44 m:n penkkikosketuksella, jolloin koehenkilöiden liikelaajuudessa oli huomattaviakin eroja johtuen miesten pituuksista, mutta yksilön kehitystä verrattessa tästä ei ollut haittaa tutkimukselle. Sekä penkkipunnerruksessa että jalkakyykyssä mitattiin ensin maksimivoima yhden toiston maksimina (1 RM) ja sitten kestovoima kuormalla, joka oli 50 %:a 1 RM:stä. Kestovoimassa koehenkilö suoritti teknisesti puhtaita toistoja niin monta kuin jaksoi jatkuvalla liikkeellä.

4.4 Tilastolliset menetelmät

Tutkimuksen tulokset analysoitiin Excel -ohjelman avulla. Analyysissa tehtiin t-testi ryhmän sisällä alku- ja loppu mittausten välillä sekä beeta-alaniini- ja placeboryhmän välisistä muutoksista. SPSS -ohjelmalla tehtiin kaksisuuntainen korrelaatioanalyysi valituille muuttujille. Tulos oli tilastollisesti merkitsevä, kun $p < 0.05$, jolloin tuloksen perään on merkitty * -merkki.

5 TULOKSET

5.1 Antropometriset ominaisuudet ja perusverenkuva

Beeta- ja placeboryhmän antropometriset muuttujat alku- ja loppumittauksissa on esitetty taulukossa 2. Perusverenkuva on vastaavasti esitetty taulukossa 3. Ryhmien välillä ei ollut eroja.

TAULUKKO 2. Antropometriset ominaisuudet (Ka ± Sd).

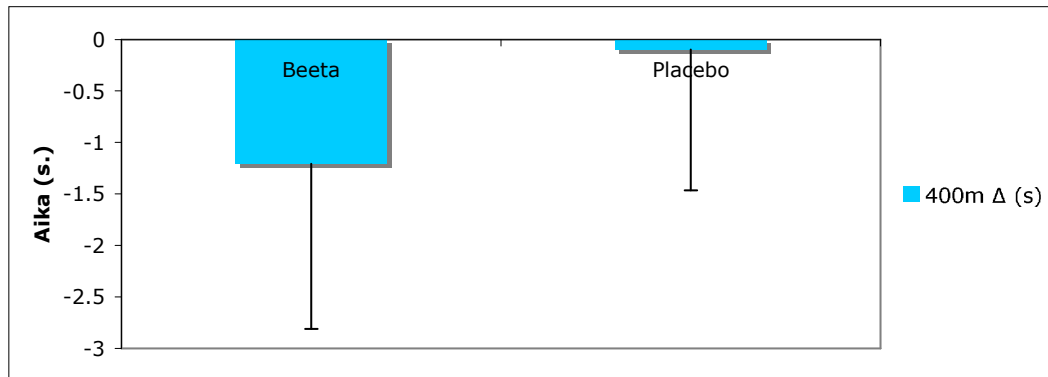
	Pre mittaus		Post mittaus		Muutos	
	Beeta	Placebo	Beeta	Placebo	Beeta	Placebo
Pituus (cm)	181.5 ± 5.0	178.4 ± 4.7	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx
Paino (kg)	77.5 ± 8.1	73.5 ± 5.1	77.5 ± 8.78	73.3 ± 4.74	0.0 ± 1.32	-0.2 ± 1.01
Rasva (%)	14.1 ± 2.4	12.8 ± 1.3	13.8 ± 2.7	12.9 ± 0.7	-0.3 ± 1.0	0.1 ± 0.9

TAULUKKO 3. Koehenkilöiden perusverenkuva levossa: hemoglobiini, hematokriitti ja laktaatti.

	Beeta-alaniini		Placebo	
	Alku	Loppu	Alku	Loppu
Hb (g/l)	150 ± 4	150 ± 5	151 ± 7	146 ± 5
Hkr	0.44 ± 0.02	0.44 ± 0.02	0.43 ± 0.03	0.42 ± 0.02
Lepolaktaatti (mmol/l)	1.23 ± 0.41	1.61 ± 0.49	1.16 ± 0.48	1.25 ± 0.22

5.2 400 m:n aika, laktaatti ja pH

Kuviossa 4 ja taulukoissa 4 ja 5 on esitetty 400 m:n juoksuajat. Beeta- ja placebo ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Koehenkilöiden lukumäärät yksittäistä mittausta kohden on esitetty taulukossa 1. Beetaryhmän kahdeksasta koehenkilöstä seitsemän pystyi parantamaan tulostaan. Ryhmän sisäinen muutos lähestyi merkitsevää ($p = 0.086$).



KUVIO 4. 400 m:n juoksuajan muutos alku- ja loppumittausten välillä ($Ka \pm Sd$).

TAULUKKO 4. Koehenkilöiden yksittäiset tulokset 400 m:n juoksussa beeta-alaniiniryhmällä.

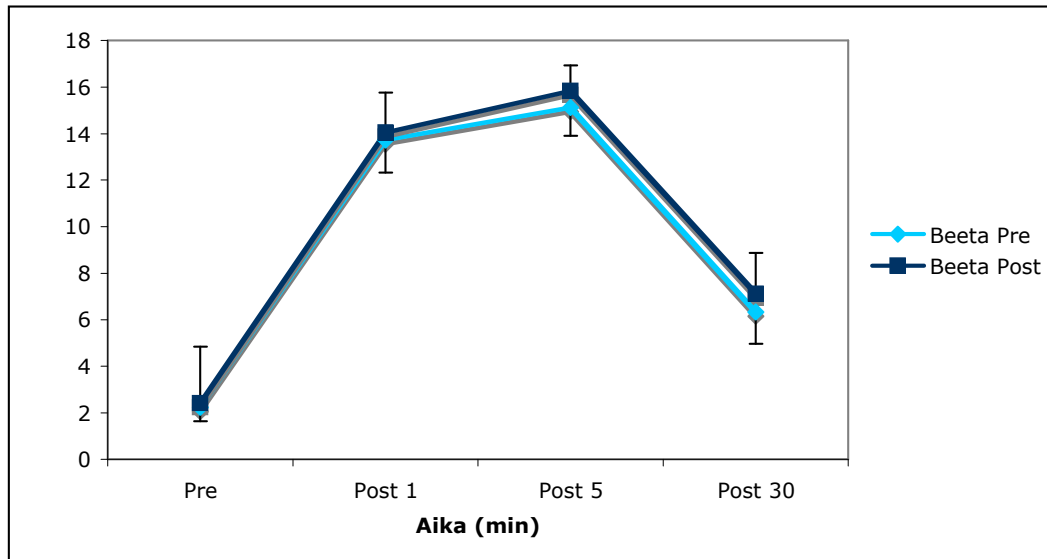
KH (beeta)	400 m (s) pre	400 m (s) post	Δ (s)
1	56.73	55.29	-1.44
2	60.92	60.46	-0.46
3	66.52	62.90	-3.62
4	63.50	65.56	2.06
5	60.52	57.5	-3.02
6	57.86	56.96	-0.9

KH (beeta)	400 m (s) pre	400 m (s) post	Δ (s)
7	57.52	56.33	-1.19
8	64.72	63.61	-1.11
Ka \pm Sd (kaikki)	61.04 \pm 3.37	59.83 \pm 3.60	-1.21 \pm 1.60

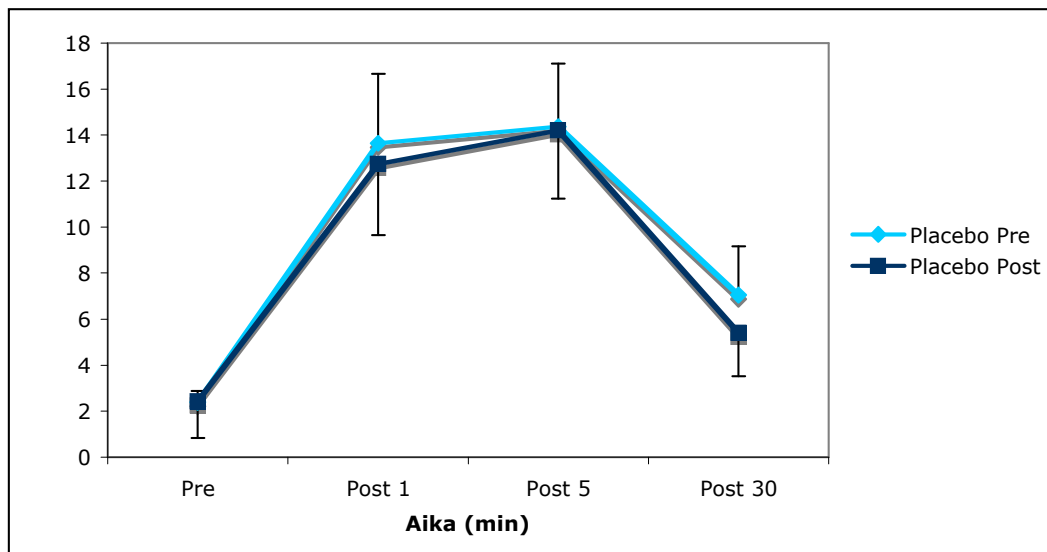
TAULUKKO 5. Koehenkilöiden yksittäiset tulokset 400 m:n juoksussa kontrolliryhmällä

KH (placebo)	400 m (s) pre	400m (s) post	Δ (s)
1	58.06	59.87	1.81
2	60.40	59.07	-1.33
3	59.21	58.44	-0.77
4	62.98	Xxxx	xxxx
5	60.01	Xxxx	xxxx
6	60.73	Xxxx	xxxx
Ka \pm Sd (kaikki)	60.23 \pm 1.51	59.13 \pm 0.59	-0.10 \pm 1.37

Laktaattiarvot alku- ja loppumittauksissa 400 m:n juoksun yhteydessä on esitetty kuviossa 5 ja 6 sekä laktaattipiikkien (post 5) yksittäiset arvot taulukoissa 6 ja 7. Laktaattiarvot kohosivat beetaryhmässä hiukan korkeammiksi loppumittauksissa verrattuna alkumittauksiin, mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä.



KUVIO 5. Laktaattiarvo (mmol/l) 400 m:n juoksun yhteydessä beeta-alaniinilla alku- (pre) ja loppumittauksissa (post).



KUVIO 6. Laktaattiarvo (mmol/l) 400 m:n juoksun yhteydessä placebolla alku- (pre) ja loppumittauksissa (post).

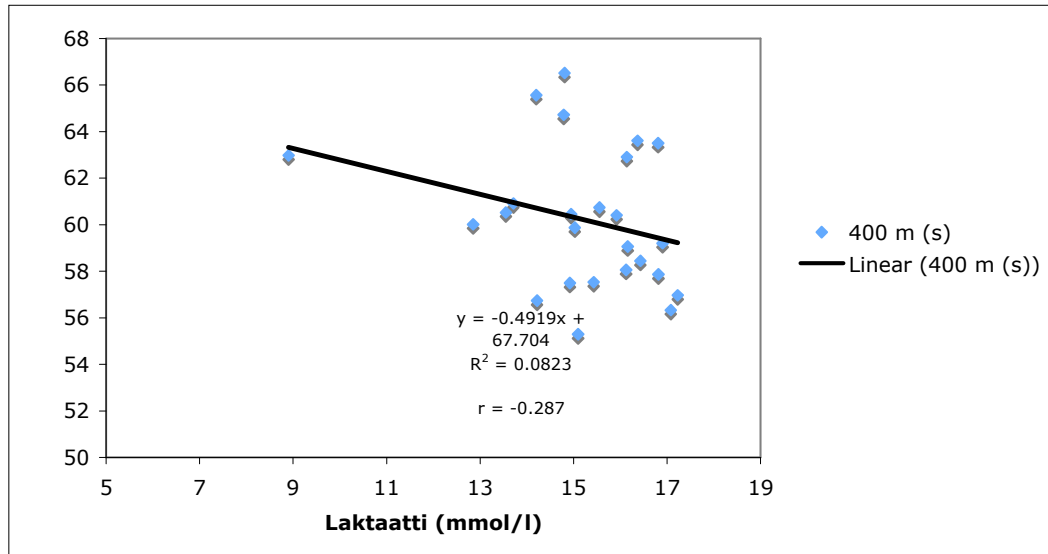
TAULUKKO 6. Laktaattipiikkien (post 5) yksittäiset arvot beeta-alaniiniryhmällä.

KH (Beeta)	La (mmol/l) post 5 pre	La (mmol/l) post 5 post	Δ (mmol/l)
1	14.22	15.10	0.88
2	13.71	14.95	1.24
3	14.81	16.14	1.33
4	16.81	14.20	-2.61
5	13.55	14.92	1.37
6	16.82	17.23	0.41
7	15.43	17.08	1.65
8	14.79	16.37	1.58
Kaikki Ka ± Sd	15.13 ± 1.22	15.84 ± 1.08	0.71 ± 1.41

TAULUKKO 7. Laktaattipiikkien (post 5) yksittäiset arvot placeboryhmällä.

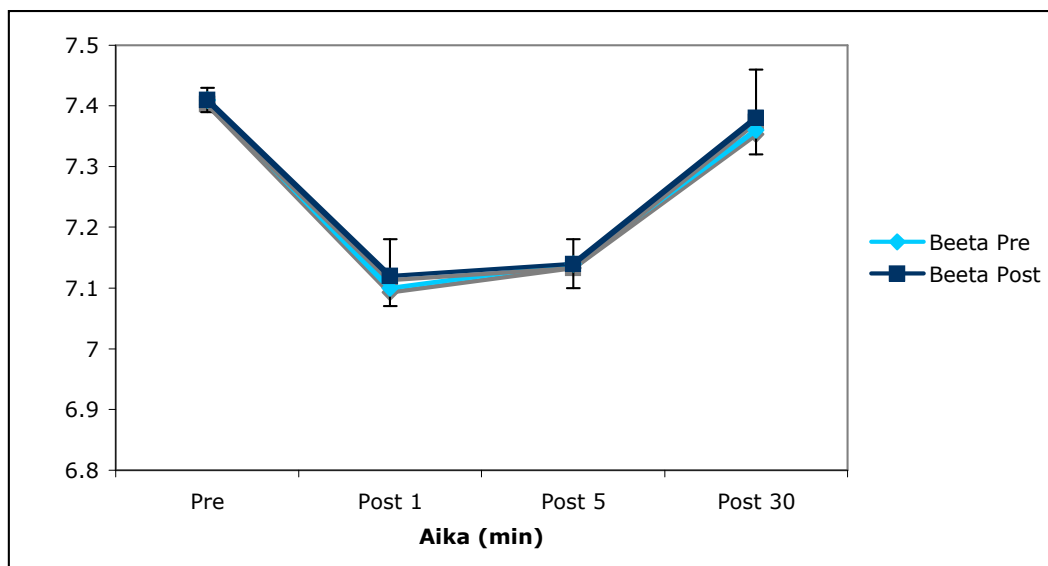
KH (Placebo)	La (mmol/l) post 5 pre	La (mmol/l) post 5 post	Δ (mmol/l)
1	16.12	15.03	-1.09
2	15.92	16.16	0.24
3	16.90	16.43	-0.47
Kaikki Ka ± Sd	16.31 ± 0.42	15.87 ± 0.61	-0.44 ± 0.54

Riippuvuus 400 m:n juoksuajan ja laktaattipiikin välillä on esitetty kuviossa 7. Korrelaatiokerroin ($r = -0.29$) ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

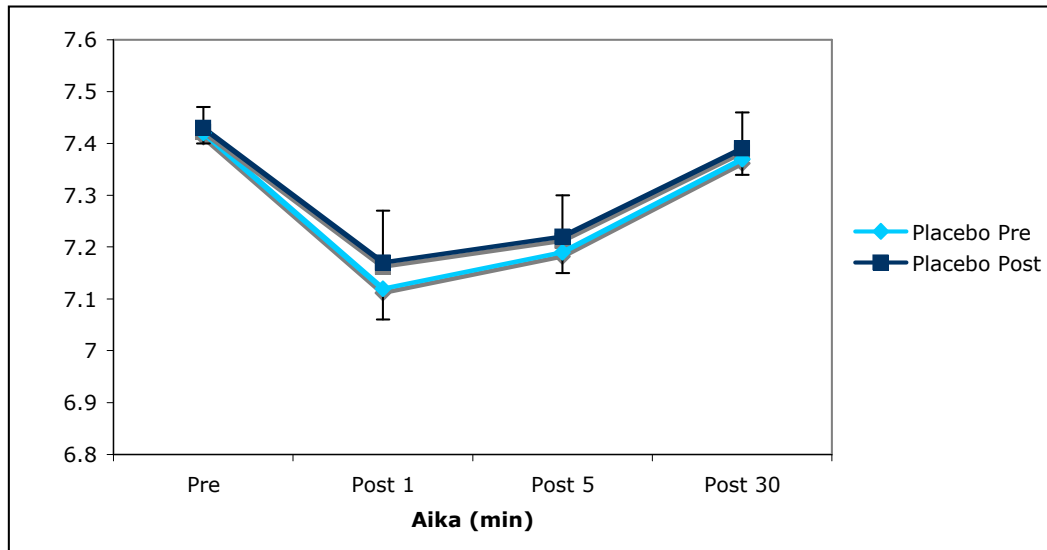


KUVIO 7. Korrelaatio 400 m:n juoksuajojen ja laktaattipiikin (post 5 min) välillä. N = 24.

Veren happamuuden muutokset alku- ja loppumittauksien välillä 400 m:n juoksun yhteydessä on esitetty kuviossa 8 ja 9 sekä pH-piikkien (post 5) yksittäiset arvot taulukoissa 8 ja 9. Ryhmien välillä ei ollut eroja.



KUVIO 8. pH-arvo 400 m:n juoksun yhteydessä beetalla alku- (pre) ja loppumittauksissa (post). Muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä.



KUVIO 9. pH-arvo 400 m:n juoksun yhteydessä placebolla alku- (pre) ja loppumittauksissa (post). Muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

TAULUKKO 8. pH-piikkien (post 5) yksittäiset arvot beetalla.

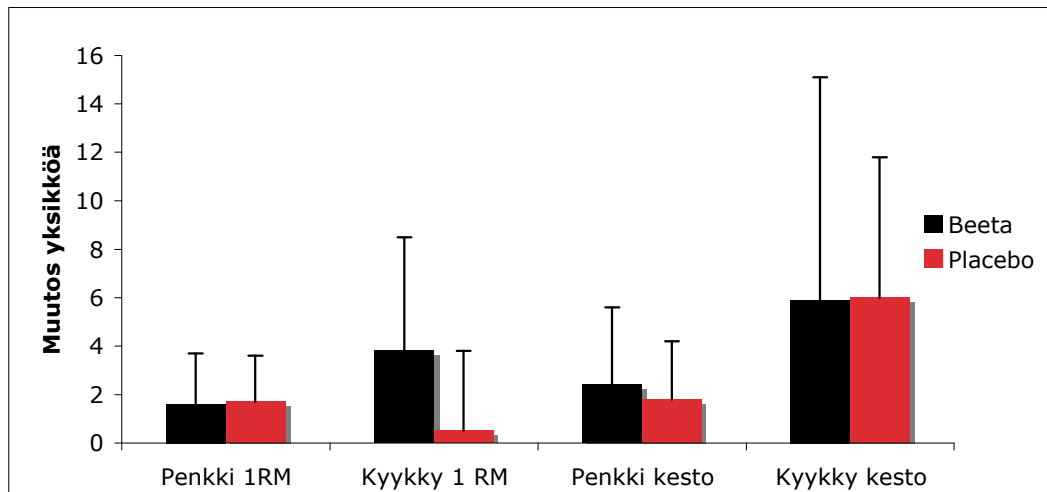
KH (Beeta)	pH post 5 pre	pH post 5 post	Δ
1	7.14	7.10	-0.04
2	7.16	7.16	0.00
3	7.22	7.18	-0.04
4	7.12	7.17	0.05
5	7.18	7.13	-0.05
6	7.11	7.07	-0.04
7	7.09	7.12	0.03
8	7.15	7.13	-0.02
Kaikki Ka \pm Sd	7.15 \pm 0.04	7.14 \pm 0.04	-0.01 \pm 0.71

TAULUKKO 9. pH-piikkien (post 5) yksittäiset arvot placebolla.

KH (Placebo)	pH post 5 pre	pH post 5 post	Δ
1	7.16	7.16	0.00
2	7.21	7.19	-0.02
3	7.14	7.17	0.03
Kaikki Ka \pm Sd	7.17 \pm 0.03	7.17 \pm 0.01	0.00 \pm 0.02

5.3 Voima- ja nopeusominaisuudet

Voimaominaisuuksien muutokset penkkipunnerruksessa ja jalkakyykyssä maksimi- ja kestovoimassa beeta- ja placeboryhmällä on esitetty kuviossa 10 ja taulukossa 10. Ryhmien välillä ei ollut merkitseviä eroja. Beeta-alaniiniryhmän sisäinen muutos lähestyi merkitsevää penkkipunnerruksen kestovoimassa ($p = 0.08$).

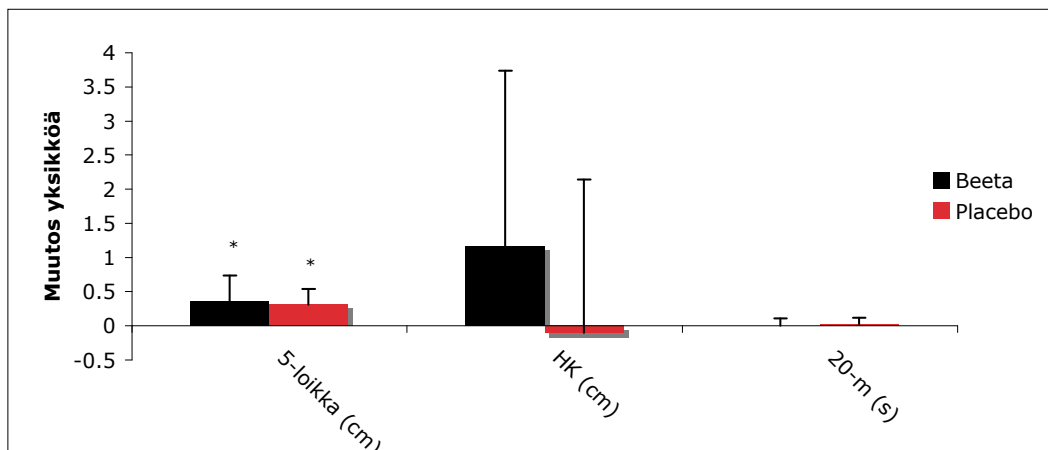


KUVIO 10. Voimaominaisuuksien muutokset alku- ja loppumittausten välillä beetalla ja placebolla (Ka \pm Sd).

TAULUKKO 10. Penkkipunnerruksen ja jalkakyykyn maksimi- ja kestovoima (Ka ± Sd).

	Alkumittaus		Loppumittaus		Muutos	
	Beeta	Placebo	Beeta	Placebo	Beeta	Placebo
1 RM (kg) Penkkipunnerrus	75.0 ± 9.9	82.5 ± 12.5	76.6 ± 10.5	83.3 ± 13.4	1.6 ± 2.1	1.7 ± 1.9
1 RM (kg) Jalkakyykky	116.9 ± 20.8	130.7 ± 26.9	120.6 ± 17.6	137.5 ± 14.7	3.8 ± 5.4	0.5 ± 3.3
Penkki kesto (kpl)	30.9 ± 3.6	28.3 ± 2.3	33.3 ± 2.8	30.8 ± 2.3	2.4 ± 3.1	1.8 ± 2.4
Kyykky kesto (kpl)	33.5 ± 7.9	35.9 ± 8.8	39.4 ± 10.3	37.8 ± 10.0	5.9 ± 8.8	6.0 ± 5.8

Nopeus- ja nopeusvoimaominaisuudet beetalla ja kontrollilla on esitetty kuviossa 11 ja taulukossa 11. Beeta- ja placeboryhmien välillä ei ollut missään muuttujassa eroja. Viisiloikassa ryhmän sisäinen muutos oli sekä beeta-alaniinilla että placebolla merkitsevä ($p < 0.05$). Kevennyshypyssä (HK) tai 20 m:n ajoissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja.



KUVIO 11. Nopeusominaisuuksien alku- ja loppumittausten väliset muutokset (Ka ± Sd).

TAULUKKO 11. Nopeus- ja nopeusvoimaominaisuudet (Ka ± Sd).

	Alkumittaus		Loppumittaus		Muutos	
	Beeta	Placebo	Beeta	Placebo	Beeta	Placebo
5-loikka (m)	13.42± 0.44	13.20 ± 0.64	13.78 ± 0.67	13.57 ± 0.78	0.36 ± 0.37*	0.31 ± 0.22*
Kevennys- hyppy (cm)	39.9 ± 4.2	42.3 ± 5.5	41.7 ± 3.6	45.0 ± 4.9	1.2 ± 2.6	-0.1 ± 2.2
20 m. juoksu (s)	3.06 ± 0.12	2.96 ± 0.04	3.07 ± 0.13	2.98 ± 0.06	0.01 ± 0.11	0.03 ± 0.09

5.4 Toteutunut harjoitusohjelma

Koehenkilöiden harjoitusmäärät kerättiin harjoituspäiväkirjojen avulla ja on esitetty taulukossa 12. Harjoitusmäärissä esitetynä harjoituskertoina ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja beetan ja placebon välillä.

TAULUKKO 12. Koehenkilöiden toteutunut harjoitusohjelma harjoituskertoina (Ka ± Sd) koko tutkimuksen ajalta (28 vrk).

Laji		Voima		Peli	
Beeta	Placebo	Beeta	Placebo	Beeta	Placebo
14.0 ± 3.8	13.5 ± 4.2	4.0 ± 2.2	4.3 ± 0.8	2.5 ± 1.2	2.8 ± 0.5

6 POHDINTA

Päätulokset. Tutkimuksessa ei ilmennyt tilastollisesti merkitseviä eroja fysiologisissa tai suorituskykyyn liittyvissä muuttujissa beeta-alaniiniryhmän ja kontrolliryhmän välillä.

400 m:n juoksuaika. Beeta-alaniini muodostaa lihaksessa karnosiinia, joka on lihaksen tärkeimpiä puskureita (Begum ym. 2005, Tallon ym. 2005, Stout ym. 2007). Tutkimuksessa 400 m:n juoksuaajat eivät kuitenkaan parantuneet tilastollisesti merkitsevästi beeta-alaniini- ja kontrolliryhmän välillä, mutta beeta-alaniinia nauttineilla muutos alku- ja loppumittausten välillä oli tilastollisesti suuntaa-antava. Jalkapalloilijoille kaikki kentällä voitettut sekunnit pallon kanssa ovat tärkeitä. Tilastollisesti tulosta heikentää se, että ainoastaan kolme koehenkilöä kontrolliryhmästä pystyivät juoksemaan 400 m sekä alku- että loppumittauksissa loukkaantumisten takia. Beeta-alaniiniryhmässä kaikki kahdeksan koehenkilöä suorittivat juoksun molemmissa mittauksissa, ja heistä seitsemän pystyi parantamaan tulostaan; osa jopa yli kolmella sekunnilla. Derawe ryhmineen tutki (2007) myös beeta-alaniinin vaikutuksia 400 m:n juoksuun, mutta tuolloinkaan ei tilastollisesti merkittävää parannusta löytynyt. Alkaloottisia oloja on yritetty luoda natriumvetykarbonaatilla (NaHCO_3 ; valmennusopissa käytetään useimmin nimitystä natriumbikarbonaatti) aikaisemmissa tutkimuksissa ja tulokset vaikutuksesta suorituskykyyn ovat olleet enimmäkseen positiivisia. Goldfinch ym. (1988) todisti tutkimuksessaan 400 m:n aikojen parantumista keskiarvoisetettuna jopa 1.52 sekunnilla ($p < 0.05$) ja myös Wilkesin ym. (1983) tutkimuksessa 800 m:n aika parani jopa 2.9 s. Toisaalta taas 400 m:n tai 600 m:n juoksuaikoihin ei NaHCO_3 tankkauksella ollut vaikutusta Kindermannin ym. (1977) tai Tiryakin & Atterbomin (1995) tutkimuksilla.

Laktaatti. 400 m:n juoksun verinäytteistä analysoidut laktaattiarvojen keskiarvot kohosivat hiukan kaikissa näytevaiheissa beetaa nauttineella ryhmällä, kun taas placeboryhmällä laktaatin keskiarvollinen muutos oli juoksun jälkeen negatiivinen kaikissa näytteissä. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei kuitenkaan löytynyt ryhmien sisällä tai näiden välillä. Korkeat laktaattipitoisuudet antavat usein viitteitä parantuneesta anaerobisesta reservistä ja suorituskyvystä, mutta näiden koehenkilöiden

perusteella ei 400 m:n ajan ja laktaattipiikin (post 5) välillä ollut tilastollista merkitsevää korrelaatiota. Pelaajilla tosin oli vielä menossa määrällisesti raskas harjoittelukausi (sisältäen runsaasti mm. aerobista harjoittelua), mikä voi huonontaa korrelaatiota. Laktaatin kohoamisen veressä voisi kuvitella olevan seurausta paremmasta puskuroinnista ja energiantuotosta lihaksessa. Vallitsevana hypoteesina pidetään ajatusta, että lihaksen puskurointi lisää laktaatin virtausta ulos vereen muuttaen näin lihaksen happamuutta emäksisimmäksi ja veren happamammaksi. Tämä voisi vähentää väsymistä, sillä vetyionit inhiboivat glykolyyttisiä entsyymejä, mm. fosfofruktokinaasia, sekä aktiini-myosiinisiltojen muodostumista. (Ibanez ym. 1995) Derawe ym. (2007) tutkimusryhmällä 400 m:n aikojen yhteydessä otetut laktaatinäytteet verestä kohosivat ja 180 sekunnin juoksun jälkeen (Δ (la) = 1.2 mmol/l). Myös NaHCO₃ nauttiminen nosti laktaattiarvoja tutkimuksissa huolimatta siitä parantuivatko juoksuajat vai eivät (Goldfinch ym. 1988, Wilkes ym. 1983, Kindermannin ym. 1977 tai Tiryakin & Atterbomin 1995).

pH. Tässä tutkimuksessa ei verestä mitattu pH muuttunut merkitsevästi, mutta muutoksen suunta oli oikea eli asidoosiin päin. Muutos alku- ja loppumittausten välillä oli 400 m:n juoksun yhteydessä post 5 min. kohdalla muuttunut beeta-alaniini ryhmällä asidoosinpaan suuntaan mikä saattaisi antaa viitteitä siitä, että työskentelevistä lihaksesta poistuisi enemmän vetyioneja vereen parantuneen puskuroinnin surauksena (Goldfinch ym. 1988). Kontrolliryhmällä vastaava muutos oli alkaloosinen. Tarkemman todisteen beeta-alaniinin puskuroinnista juuri lihaksessa olisi tietenkin saanut lihasnäytteestä, mikä ei tässä tutkimuksessa ollut mahdollista. Aikaisemmilla NaHCO₃-supplementtia tankanneilla koehenkilöillä pH käyttäytyi yhtenevästi 400-800 m:n aikojen kanssa. Jos aika oli parantunut, oli myös pH veressä hiukan laskenut (Goldfinch ym. 1988 sekä Wilkes ym. 1983), mutta jos muutos ajassa ei ollut ollut merkitsevä, ei myöskään pH ollut muuttunut juurikaan (Kindermannin ym. 1977 tai Tiryakin & Atterbomin 1995). Lepotilassa NaHCO₃ kuitenkin on nostanut veren pH:ta lähes kaikissa tutkimuksissa. Veren pH:n rooli ei luultavasti ole aivan yksiselitteinen anaerobisen suorituskyvyn selittäjä tai rajoittava tekijä näin lyhyessä suorituksessa. (Derawe ym. 2007).

Maksimi- ja kestovoima. Voimaominaisuuksista koehenkilöiltä mitattiin maksimivoima ja kestovoima penkkipunnerruksessa ja jalkakyykyssä. Maksimivoiman osalta ei kummassakaan ryhmässä tapahtunut merkitseviä muutoksia, mutta

anaerobisessa kestovoimasuorituksessa penkkipunnerruksen paraneminen läheni merkitsevää ($p = 0.08$) beeta-alaniiniryhmän sisällä alku- ja loppumittausten välillä, mutta ryhmien välillä ei ollut merkitsevää eroavaisuutta. Koehenkilöillä oli voimapainotteinen kausi meneillään, mutta kuntosalilla pääpaino oli nopeusvoimassa, joten se ei niinkään vaikuttanut tutkimuksessa mitattujen näiden voimantuotto-ominaisuuksien kehitykseen. Myös ylävartalon kehittäminen voimaharjoitteilla oli hyvin vähäistä. Aikaisemmissa tutkimuksissa lihasten suuri karnosiinipitoisuus on liitetty voimakkaasti parantuneeseen voimatasoon harjoittelujakson aikana (Derawe ym. 2007, Harris ym. 2005, Hoffman ym. 2006, Stout 2005). Derawe ym. (2007) tutkimuksessa juuri jalkojen kestovoima parantui beeta-alaniiniryhmällä verrattuna kontrolliin isokineettisessä polviekstensiossa ja Hoffman ym. (2006) tutkimuksessa maksimivoima kasvoi penkkipunnerruksessa ja jalkakyykyssä beeta-alaniinikuurin jälkeen. Rankalla harjoittelujaksolla happamuuden minimointi lihaksessa karnosiinilla heijastuu kehittäviin harjoitusvasteisiin.

Nopeus ja nopeusvoima. Aikaisemmissa tutkimuksissa ei ole nopeutta tai nopeusvoimaa testattu, sillä lyhytkestaisen suorituksen takia puskuriominaisuuksista saatava hyöty ei vielä ehdi vaikuttaa tuloksiin. Tässäkin tutkimuksessa ei ilmennyt merkitseviä eroavaisuuksia mitatuissa nopeusominaisuuksissa ryhmien välillä. Viisiloikassa tulos parantui merkitsevästi ($p < 0.05$) sekä beeta-alaniini- että plaseboryhmissä. Ryhmien välillä ei ollut merkitsevää eroa. Kevennyshypyssä beeta-alaniin tulos parani ja kontrolliryhmällä heikkeni, mutta erot eivät olleet merkitseviä. Oletettavaa olisi ollut, että nopeusvoimapainotteinen kausi olisi parantanut nopeus- ja nopeusvoimaominaisuuksia enemmän, mutta selitys voi olla laji- ja peliharjoitusten suuressa kuormituksessa.

Tutkimuksen tausta- ja virhetekijöitä. Osan ihmisistä uskotaan olevan resistenttejä eli ns. non-respondereita beeta-alaniinin vaikutuksille (Alaranta ym. 2007) ja tässäkin tutkimuksessa tulosten parantuminen oli osalla pelaajista huimaa lähes kaikilla osa-alueilla (400 m: -3.02 s., kestokyykky + 22 toistoa, 5-loikka: + 0.97 m), toisilla taas ei juuri lainkaan. Yksittäisten koehenkilöiden parantunut suorituskyky voi tosin tietenkin olla monen tekijän sattumaa. Tässä tutkimuksessa ei otettu lihasbiopsiaa karnosiinipitoisuuden määrittämiseksi, joten varmuutta juuri beeta-alaniin osuudesta tulosten paranemiseen ei saatu. Koehenkilöiden motivaatio oli hiukan vaihtelevaa, tutkimuksen testit eivät kaikille eronneet tavallisesta testipäivästä valmistautumisen

osalta juuri lainkaan. Mittauksia edeltävän päivän oli tarkoitus olla lepoa, mutta osalle pelaajista sattui peli juuri sunnuntaille, mikä vaikutti testivireeseen mittauspäivänä. Supplementtina nautittu määrä (4.5 g/ vrk, 126 g/ 28 vrk) oli hyvin lähellä aikaisempienkin tutkimuksien annoksia ja latausjakso myös yhtenevä. Tosin muutamissa tutkimuksissa latausjakson pidentämisellä esimerkiksi neljästä viikosta 10 viikkoon ja nostamalla vähitellen kerta-annoksen määrää on suorituskykyä pystytty parantamaan entisestään (Hill ym. 2006). Beeta-alaniini saattaa aiheuttaa epämiellyttävää kihelmöintiä liian suurina annoksina nautittaessa (Harris ym. 2005), ja tämänkin tutkimuksen koehenkilöistä muutama koki kutinaa. Useimmiten ihon ärsytystä havaittiin, jos kaksi päivän annoksista (yhteensä 3 g) otettiin jostain syystä yhdellä kertaa. Kutina ei sinällään vaikuta harjoitteluun tai tuloksiin, mutta saattaa joillekin olla harmillinen yksityiskohta.

Johtopäätös. Beeta-alaniini ei tässä tutkimuksessa vaikuttanut veren happamuuteen, laktaattiin tai fyysiseen suorituskykyyn. Tulosten tulkintaa heikensi vain kolmen plaseboryhmän koehenkilön osallistuminen päämuuttujan 400 metrin juoksun loppumittauksiin.

7 LÄHTEET

Alaranta A., Hulmi J., Mikkonen J., Rossi J., Mero A. 2007. Beeta-alaniini. Lääkkeet ja lisäravinteet urheilussa - suorituskykyyn ja kehon koostumukseen vaikuttavat aineet. NutriMed Oy, Gummerus Kirjapaino Oy. 254-259.

Begum G., Cunliffe A., Leveritt M. 2005. Physiological role of carnosine in contracting muscle. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 15:493-514.

Derawe W., Özdemir M. S., Harris R. C., Pottier A., Reyngoudt H., Koppo K., Wise J. A., Achten E. 2007. Beta-alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *J. Appl Physiol.* Aug 9.

Dunnett M. & Harris R. C. 1995. Carnosine & Taurine contents of different fibre types in the middle gluteal muscle of the Thoroughbred horse. *Equine Vet J*, 18: 214–217.

Durin JV., Womersley J. 1974. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr.* Jul; 32(1):77-97.

Dutka D. L. & Lamb G. D. 2004. Effect of carnosine on excitation-contraction coupling in mechanically skinned rat skeletal muscle. *J. Muscle Res. Cell Motility*, 25:203-213.

Goldfinch J., Mc NL, Davies P. 1998. Induced metabolic alkalosis and its effects on 400-m racing time. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 57: 45-48.

Guyton & Hall 2000. *Textbook of Medical Physiology.* Saunders company. s. 346-348.

Harris R. C., Tallon M. J., Dunnet M., Boobis L., Coakley J., Kim H. J., Fallowfield J. L., Hill C. A., Sale C., Wise J. A. 2006. The absorption of supplied beta-alanine and its

effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids* May; 30(3):279-89.

Hill C. A., Harris R. C., Kim H. J., Harris B. D., Sale C., Boobis L. H., Kim C. K., Wise J. A. 2007. Influence of b-alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids*, 32: 225-233.

Hoffman J., Ratamess N., Kang J., Mangine G., Faigenbaum A., Stout J. 2006 Effect of creatine and beta-alanine supplementation on performance and endocrine responses in strength/power athletes. *Int J. Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 16: 430-46.

Ibanez J., Pullinen T., Gorostiaga E., Postigo A., Mero A. 1995. *J Sport Med Phys Fitness*. 35:187-93

Juel C. 1998. Muscle pH regulation: role of training. *Acta Physiol Scand*, 162, 359-366.

Juel C. 1995. Regulation of cellular pH in skeletal muscle fiber types, studies with sarcolemmal giant vesicles obtained from rat muscles. *Biochim Biophys Acta* 1265, 127-132.

Keskinen K. L., Häkkinen K., Kallinen M. 2004. *Kuntotestauksen käsikirja*. Tammerpaino oy, Tampere.

Kindermann W., Keul J., Huber G., 1977. Physical exercise after induced alkalosis (bicarbonate or tris-buffer). *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 37: 197-204.

Lee S. Y. & Kim Y. C. 2007. Effect of beta-alanine administration on tetrachloride-induced acute hepatotoxicity. *Amino Acids*, 33: 543-546.

McArdle W. D., Katch F. I., Katch V. L. 2007. *Exercise Physiology, Energy, Nutrition, and Human Performance*. Lippincott Williams & Wilkins, USA. S. 231-238.

Stout J. R. 2005. Beta-alanine: The New Kid on the Ergogenic Block. *National Strength and Condition Association*, Vol 27: 6: 90-91.

Stout 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. *J. Strength and Condition Research*, 20:928-31.

Stout J. R., Cramer J. T., Zoeller R. F., Torok D., Costa P., Hoffman J. R., Harris R. C., O'Kroy J. O. 2007. Effects of beta-alanine supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. *Amino Acids* 32; 381-386.

Suzuki Y., Ito O., Mukai N., Takahashi H., Takamatsu K. 2005. High level of skeletal muscle carnosine contributes to the latter half of exercise performance during 30-s maximal cycle ergometer sprinting. *Japanese J. Physiology*, 52:199-205.

Tiryaki GR. & Atterbom HA. 1995. The effects of sodium bicarbonate and sodium citrate on 600 m running time of trained females. *J Sports Med Phys Fitness* 35: 194-198.

Vandewalle H., Pérès G., Monod H. 1987. Standard anaerobic exercise tests. *Sports Med*, Jul-Aug; 4 (4): 268-89

Wilkes D., Gledhill N., Smyth R. 1983. Effects of acute induced metabolic alkalosis on 800-m racing time. *Med sci Sports Exerc* 15: 277-280.

Zoeller R. F., Stout J. R., O'Kroy J. A., Torok D. J., Mielke M. 2007. Effects of 28 days beta-alanine and creatine monohydrate supplementation on aerobic power, ventilatory and lactate threshold, and time to exhaustion. *Amino Acids*, 33: 505-510.