

**NATRIUMBIKARBONAATIN JA BEETA-ALANIININ VAIKUTUKSET LYHYTKESTOISESSA UINTISUORITUKSESSA**

**Petri Hirvonen ja Janne Saarela**

Liikuntafysiologia

Kandidaatintutkielma

LFYA005

Kevät 2012

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän Yliopisto

Työn ohjaaja: Antti Mero

## TIIVISTELMÄ

**Hirvonen Petri ja Saarela Janne** 2012, Natriumbikarbonaatin ja beeta-alaniinin vaikutukset lyhytkestoisessa uintisuorituksessa. Liikuntafysiologian kandidaatintutkielma, Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän Yliopisto, 55 s.

Happo-emästasapainon säätelyllä on suuri merkitys kovatehoisessa urheiluosuorituksessa. Anaerobisessa lihastyössä elimistön pH laskee ja tämä ilmenee suorituskyvyn heikkenemisenä. Uintisuorituksen energiantuotto tapahtuu suurelta osin anaerobisesti etenkin lyhyillä matkoilla (50 - 200 m), joten happo-emästasapainon säätely on merkittävässä roolissa suorituksen lopputuloksessa. Natriumbikarbonaatti on tunnetuin lisäraavinne, jolla on pyritty vaikuttamaan happoemästasapainon säätelyyn urheilussa. Kiinnostus beeta-alaniinin puskurointikykyyn on lisääntynyt viime vuosina tehtyjen tutkimusten ansiosta ja sen uskotaan olevan myös hyvin tehokas puskuri. Näiden kahden aineen yhteisvaikutusta ei kuitenkaan ole juurikaan tutkittu, etenkin uimareilla. Tämän tutkielman tarkoitus onkin selvittää näiden kahden aineen sekä yksittäistä että yhteisvaikutusta uimareilla.

**Menetelmät.** Tutkimukseen osallistui 13 kilpauimaria paikallisesta uimaseurasta. Koehenkilöt suorittivat testipäivinä 2x100 m maksimaalisen vapaauintitestin 12 minuutin passiivisella palautuksella. Testikertoja oli jokaisella koehenkilöllä neljä (PB=plasebo, SB=sodium bicarbonate=natriumbikarbonaatti, BA=beeta-alaniini, BA+SB). Ensimmäisen ja toisen kerran erotti yksi viikko, toisen ja kolmannen neljä viikkoa ja kolmannen ja neljännen yksi viikko. Toisen ja kolmannen viikon välissä koehenkilöt nauttivat beeta-alaniinia 4,8 g/vrk. Koehenkilöt nauttivat testipäivänä 0,3 g/kg natriumbikarbonaattia tai plaseboa 60 minuuttia ennen ensimmäistä suoritusta. Uintien palautusten aikana kerätyistä verinäytteistä analysoitiin [pH], plasman [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>], laktaatti, pCO<sub>2</sub>, emäsyylimäärä, [Na<sup>+</sup>] ja [K<sup>+</sup>]. Tilastollisena menetelmänä oli Wilcoxonin non-parametrinen testi ja merkitsevyyden rajaksi asetettiin p<0.05.

**Tulokset.** Uintisuoritusten keskiarvoajat vaihtelivat 57–59 s:n välillä. SB:n nauttimisella uintiaikojen heikkeneminen testin jälkimmäisellä 100 m:n vedolla oli merkitsevästi pienempää:  $0,56 \pm 0,77$  s ( $p=0,007$ ) verrattuna PB:hen  $2,02 \pm 1,64$  s. BA:lla heikkeneminen oli  $1,38 \pm 1,50$  s ja BA+SB:llä  $1,53 \pm 0,78$  s. Veren laktaatin korkeimman arvon osalta tulokset olivat testin ensimmäisten uintisuoritusten osalta seuraavat: PB  $13,32 \pm 2,78$  mmol/l, SB  $13,45 \pm 1,85$  mmol/l, BA+PB  $12,81 \pm 2,84$  mmol/l ja SB+BA  $13,91 \pm 1,68$  mmol/l. Testin toisen uintisuorituksen jälkeiset vastaavat laktaattiarvot olivat: PB  $17,58 \pm 2,37$  mmol/l, SB  $18,65 \pm 2,67$  mmol/l, BA+PB  $17,51 \pm 2,73$  mmol/l ja SB+BA  $17,88 \pm 2,33$  mmol/l. Laktaatin pitoisuuksissa ei ollut tilastollisia merkitseviä eroja. pH-arvoissa vastaavat tulokset testin ensimmäisen uintisuorituksen jälkeen olivat (tilastollinen ero PB:hen: PB  $7,15 \pm 0,04$ , SB  $7,25 \pm 0,03^*$  ( $p=0,002$ ), BA+PB  $7,17 \pm 0,04$  ja SB+BA:  $7,23 \pm 0,04^*$  ( $p=0,002$ ). Toisen uintisuorituksen jälkeiset vastaavat tulokset olivat: PB  $7,04 \pm 0,08$ , SB  $7,15 \pm 0,05^*$  ( $p=0,002$ ), BA+PB  $7,05 \pm 0,11$  ja SB+BA  $7,13 \pm 0,07^*$  ( $p=0,005$ ). Lisäksi ennen uintia otetussa toisessa verinäytteessä SB- ja SB+BA -

ryhmillä oli tilastollinen merkitsevyys PB:hen ( $7,43 \pm 0,03$ ) verrattuna: SB  $7,49 \pm 0,03^*$  ( $p=0,002$ ) ja SB+BA  $7,48 \pm 0,04^*$  ( $p=0,003$ ). Natriumbikarbonaattia (SB- ja SB+BA -ryhmät) nautittaessa plasman  $[\text{HCO}_3^-]$ , emäsylimäärä ja  $[\text{Na}^+]$  konsentraatiot veressä muuttuivat merkitsevästi ja suorituskyvyn kannalta edullisesti kaikissa mitatuissa aikapisteissä nauttimisen jälkeen:  $[\text{HCO}_3^-]$ :n kohdalla p-arvot olivat välillä  $p= 0,002 - 0,015$ , emäsylimäärällä vastaavat arvot olivat  $p= 0,002 - 0,011$  ja  $[\text{Na}^+]$  osalta  $p= 0,003 - 0,044$ . Lisäksi BA -ryhmällä löytyi  $[\text{Na}^+]$ -tuloksista yksi merkitsevyys yhdessä mittauspisteessä, jonka p-arvo oli  $p=0,019$ .  $[\text{K}^+]$  pitoisuus veressä ei ollut yhtä säännönmukainen, joitakin merkitsevyyksiä löytyi niin SB- kuin SB+BA -ryhmistä, mutta merkitsevyyttä ei löytynyt jokaisella mittauspisteellä. Yleisesti ottaen tässä tutkimuksessa natriumbikarbonaatin nauttiminen aiheutti suuremmat muutokset mitatuissa veriarvoissa kuin pelkän beeta-alaniinin tai yhdistelmäannoksen nauttiminen.

**Pohdinta ja johtopäätökset.** Kovassa, alle 60 s uintisuorituksessa, suurin hyöty saavutettiin nauttimalla pelkästään natriumbikarbonaattia, mikä vahvistaa aikaisempia tuloksia natriumbikarbonaatin tehosta. Beeta-alaniinilla ei saavutettu tässä tutkimuksessa merkitsevää etua. Tuore meta-analyysi (Hobson ym. 2012) tukee beeta-alaniinin tulosta, eli beeta-alaniinilla ei ole selvää merkitystä alle 60 s suorituksissa. Voidaan myös todeta, että pelkän beeta-alaniinin tai aineiden yhdistelmän nauttiminen johti plaseboa nopeampaan uintisuoritukseen, joskin näillä ei ollut tilastollista merkitsevyyttä. Yksilölliset vasteet niin natriumbikarbonaattiin kuin beeta-alaniiniin olivat hyvin erilaiset vaikutusten osalta. Tutkimuksen yllättävin tulos oli, että aineiden yhdistäminen johti huonompaan suoritukseen kuin aineet erikseen nautittuina.

**Avainsanat:** *Uinti, happo-emästasapaino, puskurointi, natriumbikarbonaatti, beeta-alaniini, lisäravinteet.*

## SISÄLTÖ

### TIIVISTELMÄ

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>5</b>
<b>2 KIRJALLISUUSKATSAUS .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 HAPPOEMÄSTASAPAINON SÄÄTELY IHMISELLÄ.....</b>	<b>6</b>
2.1.1 Haptoemästasapainon kolme säätelymekanismia .....	6
2.1.2 Veren puskurimekanismit .....	7
2.1.3 Hengityksen tason säätely .....	10
2.1.4 Munuaisten tason säätely .....	12
<b>2.2 NATRIUMBİKARBONAATTI LISÄRAVINTEENA .....</b>	<b>13</b>
2.2.1 Natriumbikarbonaatin vaikutukset .....	13
2.2.2 Käytöstä aiheutuvat haitat .....	17
<b>2.3 NATRIUMBİKARBONAATTI UINNISSA.....</b>	<b>17</b>
2.3.1 Miksi natriumbikarbonaattia tulisi käyttää uinnissa?.....	17
2.3.2 Natriumbikarbonaatin vaikutukset uintisuoritukseen .....	18
<b>2.4 BEETA-ALANIINI JA KARNOSIINI .....</b>	<b>20</b>
2.4.1 Beeta-alaniinin nauttimisen vaikutukset .....	20
2.4.2 Haittavaikutukset.....	21
<b>2.5 BEETA-ALANIINI URHEILUSSA .....</b>	<b>22</b>
2.5.1 Beeta-alaniini ja suorituskyky urheilussa.....	22
2.5.2 Beeta-alaniini ja uinti .....	25
<b>3 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT .....</b>	<b>26</b>
<b>4 METHODS .....</b>	<b>28</b>
4.1 Subjects .....	28
4.2 Experimental design.....	28
4.3 Test day .....	30
4.4 Blood collection .....	31
4.5 Blood analysis .....	31
4.7 Training .....	32
4.8 Statistical methods .....	32
<b>5 RESULTS .....</b>	<b>34</b>
5.1 Swimming times.....	34
5.2 Blood lactate and pH.....	36

5.3 Blood potassium.....	38
5.4 Blood sodium .....	39
5.5 Bicarbonate and base excess .....	40
5.6 Responders and non-responders.....	41
<b>6 POHDINTA .....</b>	<b>43</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>48</b>
<b>LIITE 1. Harjoitusohjelma .....</b>	<b>53</b>
<b>LIITE 2. Lämmittelysarja .....</b>	<b>54</b>

# 1 JOHDANTO

Happoemästasapainoa säädellään elimistössämme kolmella eri tavalla: veren puskurimekanismien, hengityksen ja munuaisten tasolla. Veren puskurimekanismeihin liittyvät veressä olevat puskuriaineet, jotka pyrkivät tasapainottamaan elimistön pH:n nopeita ja lyhytaikaisia muutoksia. Hengityksen säätelyllä voidaan poistaa kehosta hiilidioksidia ja sen mukana pystytään vaikuttamaan myös happoemästasapainon säätelyyn. Pitkäaikaisempiin happoemästasapainon muutoksiin elimistö vastaa munuaisten tason säätelyllä, jossa munuaisten avulla elimistöstä voidaan konkreettisesti poistaa liikaa happamuutta tai emäksisyyttä aiheuttavat aineet. (Guyton & Hall s. 383-384.)

Urheilusuorituksissa elimistö joutuu kovan stressin alle, etenkin anaerobisissa suorituksissa. Lihaksistossa muodostuu maitohappoa, mikä dissosioituu laktaatiksi ja vetyioneiksi. Jälkimmäisten vaikutuksesta elimistön pH -arvo laskee ja siten elimistö happamoituu, mikä taas heikentää mm. lihasten voimantuottoa. Tähän reaktioon on pyritty vaikuttamaan nauttimalla happoemästasapainoon vaikuttavia aineita ja siten hidastamaan happamoitumista. Natriumbikarbonaatilla on todistettusti suuri rooli happoemästasapainon säätelyssä niin jokapäiväisessä toiminnassa kuin huippu-urheilussa. Natriumbikarbonaattia on tutkittu laajalti niin yleisen fysiologian kuin urheilun lisäravinnetutkimuksen kannalta. Sen teho on laajalti tunnustettu ja sitä on tutkittu ja käytetty jo 1980 -luvulta saakka. Beeta-alaniini on huomattavasti tuoreempi aine lisäravinnetutkimuksen saralla. Sen käyttöä on ruvettu tutkimaan vasta 2000-luvulla ja se onkin tällä hetkellä suuren mielenkiinnon kohteena.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää natriumbikarbonaatin ja beeta-alaniinin sekä yksittäisvaikutusta että yhteiskäytön vaikutuksia uimareilla. Molemmat aineet ovat tunnetusti tehokkaita puskurointikykyyn vaikuttavia aineita (Siegler & Gleadall-Siddall 2010, Lindh ym. 2008, Bishop ym. 2003, Harris ym. 2006, Hill ym. 2006, Derawe 2007), mutta niiden yhteisvaikutuksesta on tutkittu niukasti (Sale ym. 2011).

## 2 KIRJALLISUUSKATSAUS

### 2.1 HAPPOEMÄSTASAPAINON SÄÄTELY IHMISELLÄ

Ihmiselimistön happoemästäsapainon säätely perustuu pääasiallisesti vetyionien määrän säätelyyn elimistössä. Vetyioni on vetyatomista irronnut yksittäinen vapaa protoni. Sellaisia molekyyliä, jotka voivat vapauttaa itsestään vetyioneja, kutsutaan hapoiksi. Vastaavasti molekyyliä, jotka voivat ottaa vastaan vetyioneja, ovat emäksiä.

Vahvalla hapolla tarkoitetaan ainetta, joka hajoo ja vapauttaa vetyä erittäin nopeasti liuoksessa. Tällaisesta vahvasta haposta voidaan käyttää esimerkkinä suolahappoa (HCl). Vahva emäs taasen toimii päinvastoin, eli se sitoo liuoksesta nopeasti ja voimakkaasti vapaita vetyioneja. Tyypillinen vahva emäs on hydroksyyli-ioni (OH<sup>-</sup>). Ihmisen elimistössä esiintyy useita happoja ja emäksiä, ja heikoista hapoista ja emäksistä tärkeimmät ovat hiilihappo (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ja bikarbonaatti-ioni (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). (Guyton & Hall 2006, s. 383-384.)

Happoemästäsapainon säätelyyn vaikuttavat myös niin sanotut riippumattomat tekijät, jotka vaikuttavat elimistön happamuuteen epäsuorasti. Riippumattomia muuttujia ovat vahvojen ionien pitoisuusero (SID), heikkojen happojen kokonaispitoisuus (A<sub>TOT</sub>) ja hiilidioksidin osapaine (pCO<sub>2</sub>). Näiden laskemiseen tarvitaan tietoa veren vahvoista elektrolyyteistä ja veren kokonaisproteiinimäärästä. Tärkeitä elektrolyyttejä ovat mm. natrium, kalium, kloori ja laktaatti. (Schück & Matoušovic 2005.)

#### 2.1.1 Happoemästäsapainon kolme säätelymekanismia

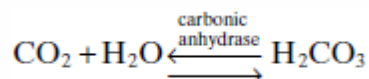
Vetyionien (H<sup>+</sup>) poistoon on ihmiselimistössä erikoistunut kolmen päämekanismin järjestelmä ylläpitämään happo-emästäsapainoa: kemiallinen happo-emäspuskurointi kehon nesteissä, hengityskeskus ja munuaiset. Kemialliset puskurit yhtyvät nopeasti happoon tai emäkseen ja vaikuttavat täten pH:n muutoksiin. Hengityskeskuksessa säädelään hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) poistoa ja munuaiset säätelevät pH:ta erittämällä joko emäksis-

tä tai hapanta virtsaa. Kemialliset puskurit on elimistön nopein vaste pH:n muutokseen, tätä seuraa hengityksen säätely ja lopulta hitain ja tehokkain tapa vaikuttaa pH:n on munuaisten tason säätely. (Guyton & Hall 2006, s. 384.)

### 2.1.2 Veren puskurimekanismit

Veren kemiallinen puskurointi on tärkeä nopeassa pH:n muutoksien säätelyssä. Puskurit reagoivat pH:n muutokseen sekunnin murto-osissa ja hidastavat muutoksia. Puskurimekanismi ei ole lopullinen ratkaisu  $H^+$ -ionien kertymiseen, vaan sen tarkoitus on hidastaa ja viivyttää pH:n muutosta, että muut mekanismit pääsevät poistamaan  $H^+$ -ioneja. (Guyton & Hall 2006, s. 384.)

Veren bikarbonaattipuskurijärjestelmä on yksi tärkeimmistä puskurijärjestelmistä. Sen perusaineina toimii heikko happo, useimmiten vetyhappo ( $H_2CO_3$ ) ja bikarbonaattisuola kuten natriumbikarbonaatti ( $NaHCO_3$ ). Elimistössä syntyy  $H_2CO_3$ :a veden ( $H_2O$ ) ja hiilidioksidin reaktiossa (kuvio 1.) Reaktio on hidas ja se vaatii toimiakseen tehokkaasti karboanhydraasientsyymiä, jota löytyy runsaasti etenkin keuhkorakkuloiden seinämiltä, josta  $CO_2$  vapautuu, sekä munuaistubulusten epiteelisoluista, joissa  $CO_2$  reagoi  $H_2O$ :n kanssa muodostaakseen  $H_2CO_3$ :a. (Guyton & Hall 2006, s. 385.)



**KUVIO 1.** Veden ja hiilidioksidin reaktio (Guyton&Hall 2006, s. 385).

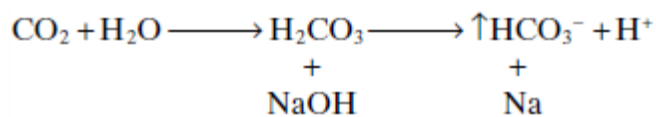
$H_2CO_3$  ionisoituu heikosti, mutta ionisoituessaan se muodostaa  $H^+$ -ioneja ja  $HCO_3^-$ -ioneja. Toinen systeemin vaikuttava osa, bikarbonaattisuola, on lähes kaikkialla elimistön solunulkoisissa nesteissä natriumikarbonaatin muodossa. Se ionisoituu lähes täydellisesti  $Na^+$  ja  $HCO_3^-$ -ioneiksi. Koska  $H_2CO_3$  hajoaa heikosti, on elimistön  $H^+$  konsentraatio erittäin pieni. (Guyton & Hall 2006, s. 385.)

Kun bikarbonaattipuskuria sisältävään liokseen lisätään vahvaa happoa, kuten suolahappoa ( $HCl$ ),  $H^+$ -ionien vapautuminen tehostuu ja  $HCO_3^-$  puskuroi muodostuneet  $H^+$ -ionit. Tämän seurauksena  $H_2CO_3$ :a muodostuu lisää, mikä aiheuttaa vastaavasti lisään-



tyneen  $\text{H}_2\text{O}$ :n ja  $\text{CO}_2$ :n muodostumisen. Lisääntynyt  $\text{CO}_2$  stimuloi keuhkotuuletusta, minkä avulla kertynyt  $\text{CO}_2$  saadaan poistettua. (Guyton & Hall 2006, s. 385.)

Vastaavasti kun liuokseen lisätään vahvaa emästä, kuten natriumhydroksidia ( $\text{NaOH}$ ), reaktio toimii päinvastoin.  $\text{NaOH}$ :sta irtoaa  $\text{OH}^-$ -ioni, joka yhdistyy  $\text{H}_2\text{CO}_3$ :n kanssa ja muodostaa lisää  $\text{HCO}_3^-$ -ioneja. Siten heikko emäs,  $\text{NaHCO}_3$ , korvaa vahvan emäksen,  $\text{NaOH}$ :n. Samanaikaisesti  $\text{H}_2\text{CO}_3$ :n määrä vähenee, koska se reagoi  $\text{NaOH}$ :n kanssa, minkä seurauksena lisää  $\text{CO}_2$ :ta yhtyy  $\text{H}_2\text{O}$ :n korvatakseen  $\text{H}_2\text{CO}_3$ :n (kuvio 2.). Tämän tuloksena veren  $\text{CO}_2$ -pitoisuus laskee, mutta tämä aiheuttaa hengityksen inhibitiota ja täten pienentää  $\text{CO}_2$ -poistumaa hengityksen kautta. Lisäksi veren  $\text{HCO}_3^-$ -pitoisuuden nousu kompensoidaan kasvaneella munuaisten  $\text{HCO}_3^-$  erityksellä. (Guyton & Hall 2006, s. 385.)



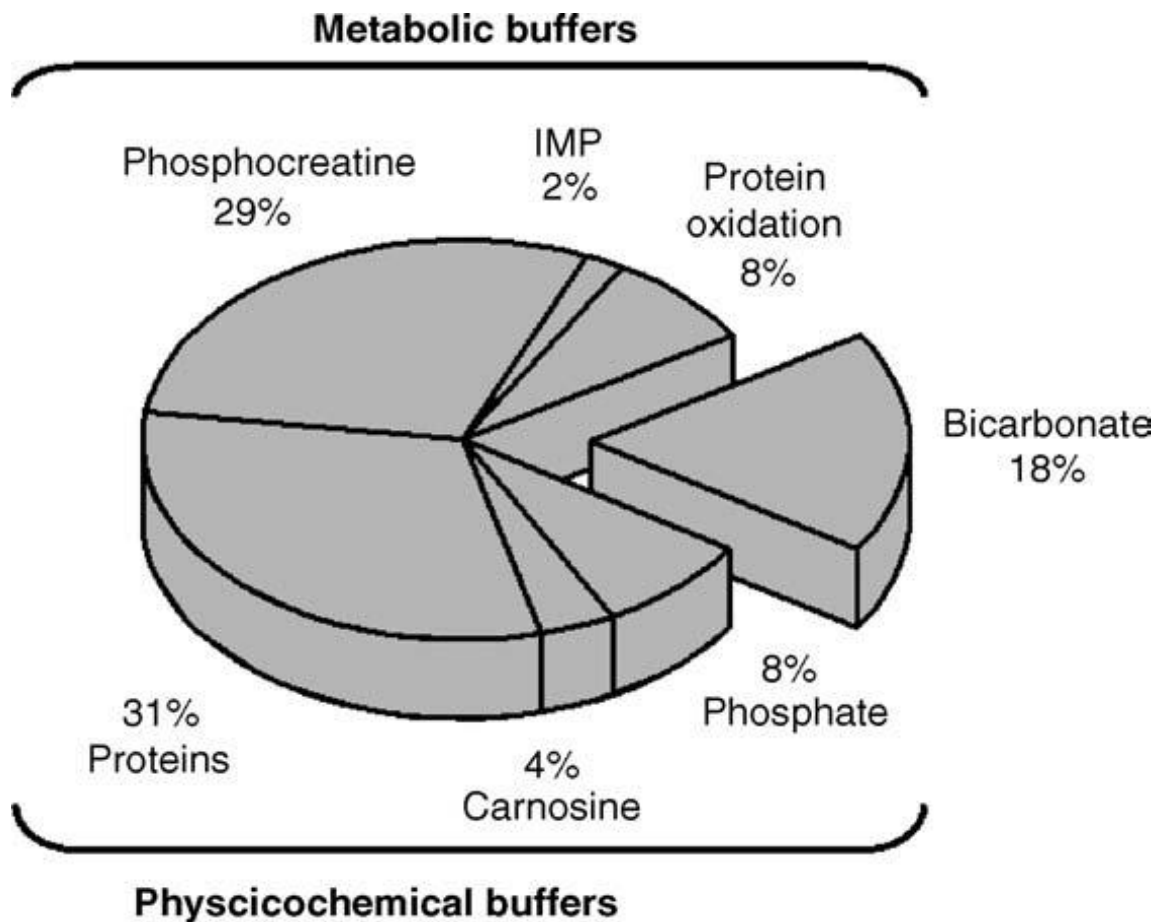
**KUVIO 2.** Vahvan emäksen vaikutukset liuoksessa (Guyton&Hall 2006, s.385).

Toinen tärkeä puskurimekanismi kehon nesteissä on fosfaattipuskurisysteemi. Se ei ole solunulkoisissa nesteissä yhtä tärkeä kuin bikarbonaattipuskurointi, mutta sen tärkeys korostuu solunsisäisissä nesteissä ja munuaistubulusten nesteissä. Fosfaattipuskuroinnissa kaksi tärkeintä ainetta ovat fosforihappo ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) ja fosfaatti-ioni ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Fosfaattipuskureita löytyy solunulkoisesta nesteestä vain 8 % bikarbonaattipuskurien määrään verrattuna. Fosfaattipuskurien pK-arvo on 6,8, mikä ei ole kaukana kehon nesteiden normaali-pH:sta (7,4). pK-arvo tarkoittaa hapon hajoamisvakion arvoa. (Guyton & Hall 2006, s. 387.)

Solunsisäisissä nesteissä ja etenkin munuaisten tubulusten nesteissä fosfaattipuskuroinnin merkitys korostuu. Tubuluksissa fosfaatin konsentraatio kasvaa voimakkaasti ja täten vahvistaa niiden puskurointikykyä. Lisäksi tubulusten pH on matalampi kuin solunulkoisessa nesteessä, jolloin fosfaattipuskurit ovat lähempänä omaa optimi-pK:taan, mikä edelleen tehostaa niiden toimintaa. Solunsisäisissä nesteissä fosfaattipuskuroinnin tehokkuus perustuu myös nesteiden korkeaan fosfaattikonsentraatioon sekä matalampaan pH-arvoon. (Guyton & Hall 2006, s. 387.)

Kolmas kehon nesteissä tapahtuva puskurointimekanismi on proteiinipuskurointi, jotka ovat myös tärkeitä solunsisäisiä puskureita. Proteiineja on paljon kaikissa soluissa, mikä antaa niille suuren potentiaalin toimia solunsisäisinä puskureina. Solunsisäinen pH on hieman matalampi kuin solunulkoisessa nesteessä, mikä saa aikaan aineiden siirtymistä niiden välillä. Solukalvon läpi kulkee hieman  $H^+$ - ja  $HCO_3^-$ -ioneita, mutta  $CO_2$ :a virtaa runsaasti kaikkien solukalvojen läpi. Poikkeuksena toimivat punasolut, joiden läpi aineet pääsevät virtaamaan vapaammin. Tämä diffuusio saa aikaan solunsisäisen nesteen pH:n muuttumisen kun solunulkoisen nesteen pH muuttuu. Tämän takia solunsisäiset puskurit voivat vaikuttaa myös solunulkoisen nesteen pH:n. Punasoluissa oleva hemoglobiini on yksi tärkeimmistä proteiinipuskureista, koska se voi sitoa  $H^+$ -ioneja. Arvioidaan, että noin 60–70 % kaikesta kemiallisesta puskuroinnista solujen sisällä on proteiinipuskuroinnin vastuulla. Lisäksi proteiinipuskuroinnin tehoa parantaa se, että niiden optimaalinen pH-alue on yleensä lähellä 7,4:ää. (Guyton & Hall 2006, s. 387–388.)

Lihaksissa tapahtuvassa puskuroinnissa tärkein puskurointimekanismi ei **siis** ole bikarbonaattipuskurointi, vaan suurimman osan puskuroinnista muodostaa proteiini ja fosfokreatiinipuskurointi. Kuviosta 3 nähdään selvästi lihasten sisäisen puskuroinnin osat: fosfokreatiini-, inosiinimonofosfaatti- (IMP), proteiinien hapetus-, bikarbonaatti-, fosfaatti-, karnosiini- ja proteiinipuskurit. (Péronnet & Aguilaniu 2006.)



**KUVIO 3.** Lihaksen sisäiset puskurimekanismit (Péronnet & Aguilaniu 2006.)

### 2.1.3 Hengityksen tason säätely

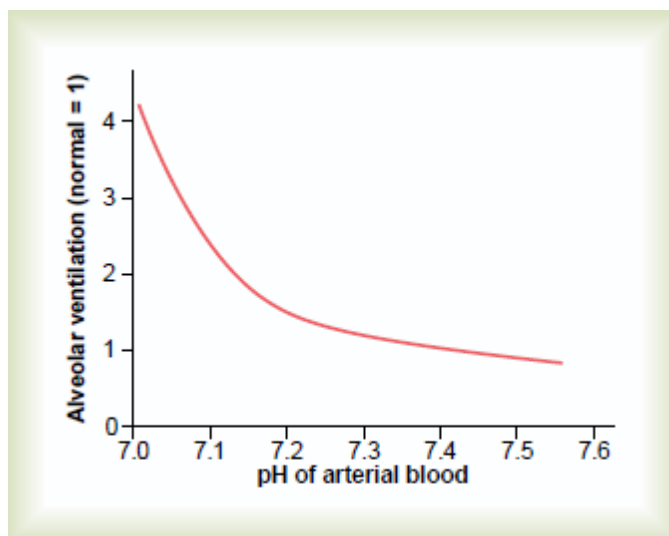
Toiseksi nopein taso happo-emästasapainon säätelyssä on hengityksen avulla tapahtuva säätely. Se perustuu yksinkertaisesti ventilaation avulla tapahtuvaan hiilidioksidin poistoon, mikä vastaavasti pienentää  $H^+$ -ionikonsentraatiota. Vastaavasti pienentynyt ventilaatio lisää  $CO_2$ -pitoisuutta ja kasvattaa  $H^+$ -konsentraatiota solunulkoisessa nesteessä. Hiilidioksidin poisto vaikuttaa  $H^+$ -konsentraatioon kuvaan 2 verrattuna käänteisenä reaktiona, jossa karbonaatti-ioni sitoo vetyä, mistä syntyy bikarbonaattia, joka hajoaa hiilidioksidiksi ja vedeksi, jonka jälkeen keuhkot voivat poistaa hiilidioksidin. (Guyton & Hall 2006, s.388.)

Kehossa muodostuu hiilidioksidia jatkuvasti solunsisäisissä aineenvaihduntaprosesseissa. Muodustunut  $CO_2$  kuljetetaan veren mukana keuhkoihin joissa se diffusoituu

keuhkorakkuloihin ja sieltä ulos hengitysilmaan keuhkotuuletuksen avulla. Normaaliooloissa noin 1,2 mol/L  $\text{CO}_2$  on liuenneena solunulkoisessa nesteessä, joka vastaa noin 40 mmHg hiilidioksidin osapainetta ( $P_{\text{CO}_2}$ ).  $P_{\text{CO}_2}$  muuttuu aineenvaihdunnan vilkkauden mukaan: kun  $\text{CO}_2$  tuotto kasvaa, kasvaa  $P_{\text{CO}_2}$  ja  $\text{CO}_2$  tuoton vähentyessä päinvastoin. (Guyton & Hall 2006, s.388.)

Hengitystä kiihdyttämällä voidaan vähentää solunulkoisen nesteen  $\text{H}^+$ -ionikonsentraatiota ja täten myös nostaa pH:ta. Kun keuhkotuuletus kasvaa kaksinkertaiseksi voidaan havaita solunulkoisen nesteen pH:n nousevan noin 0,23:lla. Vastaavasti keuhkotuuletuksen pienentäminen neljännekseen normaalista laskee pH:ta noin 0,45. (Guyton & Hall 2006, s. 388–389.)

Kasvanut  $\text{H}^+$ -konsentraatio stimuloi keuhkotuuletusta kiihdyttäen sitä tarpeen mukaan. Kuviossa 4 nähdään selvästi, kuinka valtimoveren pH:n laskiessa noin 7,0 on keuhkotuuletus kasvanut nelinkertaiseksi. Mitä alhaisemmaksi pH laskee, sitä voimakkaammaksi keuhkotuuletus kasvaa. Hengityksen säätely toimii tässä tapauksessa tyypillisesti negatiivisen vasteen tavalla: kun  $\text{H}^+$ -konsentraatio kasvaa, hengitys stimuloituu ja keuhkotuuletus kasvaa. Tämä pienentää solunulkoisen nesteen  $P_{\text{CO}_2}$ :ta ja palauttaa  $\text{H}^+$ -konsentraatiota normaalitasoon.  $\text{H}^+$ -tasojen laskiessa hengityskeskus käskää vähentämään keuhkotuuletusta ja täten tilanne normalisoituu. (Guyton & Hall 2006, s. 389.)



**KUVIO 4.** Veren pH:n suhde ventilaatioon (Guyton & Hall 2006, s. 389.)

Kun pH:n muutos tapahtuu hengityksestä riippumattomasta syystä, ei hengitystä säättämällä voida palauttaa  $H^+$ -konsentraatiota täysin normaalitasolle. Yleensä hengityksen säätelyllä voidaan saavuttaa  $H^+$ -konsentraation 50-75 % palautuminen. Tämä vaste tapahtuu yleensä noin 3-12 minuutin aikana muutoksesta. Hengityksen säätely on tehokas keino  $H^+$ -konsentraation säätelyyn ja sen avulla pH voidaan pitää kurissa ennen kuin munuaiset voivat palauttaa tasapainon. Hengityksen säätely on noin yhdestä kahteen kertaa tehokkaampi puskurimekanismi kuin kaikki kehon kemialliset puskurit solunulkoisissa nesteissä. (Guyton & Hall 2006, s.389.)

### 2.1.4 Munuaisten tason säätely

Munuaiset ovat tehokkain happo-emästasapainon säätelymekanismeista. Ne voivat erittää joko hapanta tai emäksistä virtsaa tarpeen mukaan. Munuaisten toimintamekanismi happo-emästasapainon säätelyssä perustuu seuraavaan: munuaistubulukset suodattavat jatkuvasti suuria määriä  $HCO_3^-$ -ioneja, jotka voidaan poistaa virtsaan ja täten poistaa emästä verestä. Tubulusten epiteelisoluista eritetään myös suuria määriä  $H^+$ -ioneja virtsaan poistaen happoa verestä. Näiden kahden ionien poistuman suhde määrittää virtsan pH:n ja sen, että häviääkö verestä happoa vai emästä. (Guyton & Hall 2006, s. 390.)

Keho tuottaa päivässä noin 80 milliekvivalenttia (mEq) haihtumattomia (nonvolatile) happoja, lähinnä proteiinimetabolian yhteydessä syntyneitä. Niitä kutsutaan haihtumattomiksi, koska ne eivät ole  $H_2CO_3$ :a eikä niitä siksi voi poistaa keuhkotuuletuksen avulla. Munuaiset ovatkin päämääräinen tapa poistaa nämä hapot elimistöstä. Munuaiset suodattavat päivässä noin 4320 mEq bikarbonaattia ( $180 \text{ L/pvä} \times 24 \text{ mEq/L}$ ), josta lähes kaikki reabsorboidaan takaisin ja täten elimistön bikarbonaattipuskurit säilyvät solunulkoisessa nesteessä. Kaiken kaikkiaan munuaiset säätelevät solunulkoisen nesteen  $H^+$ -konsentraatiota kolmella päämekanismilla:  $H^+$  erityksellä,  $HCO_3^-$ :n reabsorptiolla ja uuden  $HCO_3^-$ :n tuotannolla. (Guyton & Hall 2006, s. 390.)

Munuaisten tubulusten  $H^+$ -erityksen ja  $HCO_3^-$ -reabsorption säätelyyn liittyy useita tekijöitä.  $H^+$ -eritystä ja  $HCO_3^-$ -reabsorptiota lisääviä tekijöitä ovat 1.  $P_{CO_2}$  nousu, 2.  $H^+$ -konsentraation nousu ja  $HCO_3^-$ -konsentraation lasku, 3. solunulkoisen nesteen tilavuuden lasku, 4. angiotensiini II määrän kasvu, 5. aldosteronin määrän kasvu sekä 6. hypo-

kalemia, eli kaliumin puutostila. Vastaavasti edellisten tekijöiden vastakohtat aiheuttavat käänteisen vasteen, eli  $\text{HCO}_3^-$ :n ja  $\text{H}^+$ -erityksen laskun. (Guyton & Hall 2006, s. 395.)

## 2.2 NATRIUMBİKARBONAATTI LISÄRAVINTEENA

### 2.2.1 Natriumbikarbonaatin vaikutukset

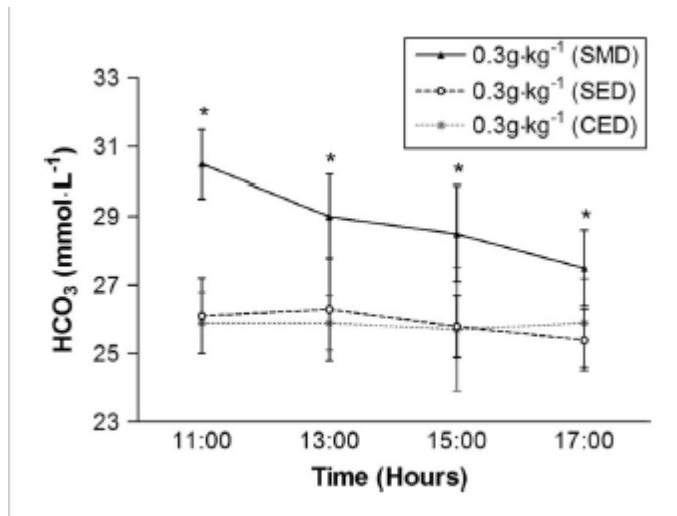
Natriumbikarbonaatin nauttimisella pyritään luomaan elimistöön metabolinen alkaloottilinen tila. Natriumbikarbonaatin nauttimisella on todistetusti saatu hyötyä lyhyeen korkeatehoiseen suoritukseen. Hyödyn saamiseksi suorituksen tulisi kestää 1-7 minuuttia (Raymer ym. 2004). Todennäköisimmät mekanismit tämän ilmiön takana lienevät tehostuneet lihaksen fosfokreatiinin käyttö, lihaksen glykokeenin käyttö ja plasman laktaattitason nousu. Muita mahdollisia mekanismeja ovat epäorgaanisen fosfaatin kertyminen lihakseen ja tehostunut laktaatin poisto lihaksesta. (Raymer ym. 2004, Hollidge-Horvat ym. 2000, Douroudos ym. 2006.)

Natriumbikarbonaatin nauttimisella on tutkimuksissa saatu aina vaikutus happo-emäs tasapainoon, mutta suoritusta parantavat ergogeeniset hyödyt eivät aina ole olleet selviä. Tähän osasyynä lienee nautittavan annoksen koko ja nauttimisaika. (Douroudos ym. 2006.) Natriumbikarbonaatin annostusta ja nauttimisaikaa sekä -tapaa on tutkittu useissa tutkimuksissa. (Douroudos ym. 2006, Siegler ym. 2010, Triplett-McBride ym. 2003.)

Douroudos ym. (2006) tutkivat natriumbikarbonaatin vaikutuksia suorituskykyyn viiden päivän annostuksen jälkeen. Tutkimuksessa käytettiin kolmea koeryhmää: kontrollia, keskivoimakasta annostusta (0,3 g/kg/pvä) ja voimakasta annostusta (0,5 g/kg/pvä). Natriumbikarbonaatti nautittiin kahdesti päivässä laboratoriossa. Koehenkilöiden suorituskyvyn määrittämiseen käytettiin Wingaten testiä. Koehenkilöiltä mitattiin verestä pH,  $[\text{HCO}_3^-]$ ,  $[\text{K}^+]$ , emäsyylimäärä,  $\text{P}_{\text{CO}_2}$ ,  $\text{P}_{\text{O}_2}$ ,  $[\text{Na}^+]$ , laktaatti ja keskiteho ennen ja jälkeen Wingaten testin. Natriumbikarbonaatin nauttiminen vaikutti kaikkiin muuttujiin niin levossa kuin kuormituksessakin. Merkittävimmät erot saatiin plasman  $\text{HCO}_3^-$ -konsentraatiossa, keskitehossa, laktaattitasossa, pH:ssa ja  $\text{K}^+$ -konsentraatiossa. Voima-

kas annostus toi suuremman muutoksen arvoissa, mutta ero keskivoimakkaaseen annostukseen ei ollut kaikissa muuttujissa merkittävä. Voimakkaan annostuksen myötä myös koehenkilöiden kokemat ruuansulatuskanavan ärsytysoireet lisääntyivät. Tutkimuksessa todetaankin, että keskivoimakas 0,3 g/kg/pvä annostus on kynnystaso elimistölle, jonka ylittäminen ei enää välttämättä hyödytä suoritusta samassa suhteessa kuin keskivoimakas annostus. (Douroudos ym. 2006.) Tutkimuksen tulokset ovat mielenkiintoisia, sillä tutkimusten mukaan suorituksen tulisi kestää vähintään minuutin, jotta natriumbikarbonaatin nauttimisesta saataisiin hyötyä suoritukseen ja Wingaten testi kestää 30 sekuntia.

Siegler ym. (2010) tutkivat eri latausprotokollien vaikutusta natriumbikarbonaatin vaikutuksiin. Tutkimuksessa käytettiin annoksina 0,1; 0,2 ja 0,3 g/kg natriumbikarbonaattia. Tutkimus koostui kahdesta osasta: osassa A koehenkilöt nauttivat  $\text{NaHCO}_3$ -annoksensa ja heidän vertaan analysoitiin 120 minuutin ajan nauttimisesta ja osassa B tutkittiin kolmen eriaikaisen nauttimisen vaikutusta, yksittäistä aamuannosta, yksittäistä iltannosta ja kolmen peräkkäisen illan annosta. A-osassa verinäytteet otettiin 20 minuutin välein. B-osassa aamuannos nautittiin 09:00 ja iltannokset 20:00 ja koepäivänä koehenkilöiden verinäytteet kerättiin kahden tunnin välein klo 11:00–17:00 välisenä aikana. (Siegler ym. 2010.) Osan A tuloksena havaittiin 0,2 ja 0,3 g/kg annostuksen olevan merkittävästi tehokkaampia veren puskuroinnissa kuin 0,1 g/kg annostuksen, mutta näiden välillä ei ollut merkittävää eroa. Toinen tärkeä havainto oli, että 0,1 ja 0,2 g/kg annostuksen vaikutus veren puskurointiin säilyi lähes vakiona, mutta 0,3 g/kg annostuksella oli selvästi havaittavissa piikki 60 minuutin kohdalla ja arvot laskivat selvästi 100 ja 120 minuuttiin verrattuna. Osassa B huomattiin yksittäisen aamuannoksen olevan merkittävästi tehokkaampi veren puskurointiin kuin yksittäinen iltannos tai peräkkäisten iltojen annos. Aamuannoksen vaikutus puoliintui klo 17:00 mennessä ja iltannostusten vaikutus säilyi tasaisen matalana läpi päivän, kuten kuvioista 5 nähdään. Tutkimuksen johtopäätöksenä todettiin yksittäisen 0,2 ja 0,3 g/kg olevan tehokkaimmat nauttimistavat veren puskurointikyvyn parantamiseksi. 0,2 g/kg annoksen vaikutus on tehokkaimmillaan 40-50 minuuttia ja 0,3 g/kg annoksen 60 minuuttia ennen suoritusta. Mielenkiintoinen havainto tutkimuksessa oli se, että osan B yksittäisen aamuannoksen vaikutus veren  $\text{HCO}_3^-$ -konsentraatioon oli samalla tasolla neljä tuntia nauttimisen jälkeen kuin osan A 120 minuutin kohdalla. Tämä viittaa siihen, että  $\text{NaHCO}_3$ -annoksen nauttiminen vaikuttaa suorituskykyyn jopa neljän tunnin ajan. (Siegler ym. 2010.)



**KUVIO 5.** Eri nauttimisprotokollien vaikutus veren  $\text{HCO}_3^-$ -konsentraatioon. SMD= single morning dose (yksittäinen aamuannos), SED= single evening dose (yksittäinen ilta-annos), CED= continuous evening dose (jatkuva ilta-annos), annostus joka ryhmälle 0,3 g/kg. (Siegler ym. 2010.)

Pidempiaikaisella natriumbikarbonaatin nauttimisella ei näyttäisi olevan vaikutusta lihaksen puskurointikapasiteetin parantamiseen. Edge ym. (2006) tutkivat pitkäaikaisen  $\text{NaHCO}_3$ :n nauttimisen vaikutuksia intervalliharjoitteluun ja lihasten puskurointikapasiteettiin. Tutkimuksessa saatiin joitain harjoitusvaikutuksia  $\text{NaHCO}_3$ :n nauttimisella: ainetta nauttineiden koehenkilöiden aerobinen kynnyksen parani placeboryhmää paremmin sekä uupumiseen mennyt aika koasetelmassa oli pidempi  $\text{NaHCO}_3$ :a nauttineilla. Tutkimuksessa ei havaittu eroa lihasten puskurointikapasiteetin muuttumisessa ryhmien välillä. Tästä pääteltiin, että lihasten puskurointikapasiteetin kehittymiseen vaikuttaa enemmänkin harjoittelun intensiteetti, eikä  $\text{H}^+$ -ionien kertyminen, jota  $\text{NaHCO}_3$ :n nauttiminen tehostaa. (Edge ym. 2006.)

Sostaric ym. (2006) ovat tutkineet aiheutetun alkaloosin vaikutusta ihmisen  $\text{K}^+$ -ionien säätelyyn kovassa harjoittelussa. Harjoittelemattomat koehenkilöt tekivät sormen koukistusliikettä 75 %:lla maksimitehosta (n. 3 W) kahdessa ryhmässä, alkaloosi- ja kontrolliryhmässä. Alkaloosiryhmällä uupumiseen kulunut aika kasvoi merkittävästi, sekä laskimo- ja valtimoveren  $\text{K}^+$ -konsentraatio pieneni ja laskimo-valtimoveren  $\text{K}^+$ -konsentraatioero kasvoi. Lihasten  $\text{K}^+$ -virtaus uupumuksen aikaan oli suurempi alkaloo-



siryhmällä ja  $K^+$ -ionien sisäänvirtaushuippu lihakseen oli suurempi palautumisen aikana. Tämä viittaa siihen, että lihasten  $Na^+$ ,  $K^+$  -ATPaasiaktiivisuus on kasvanut  $NaHCO_3$ :n nauttimisen ansiosta. (Sostaric ym. 2006.)

$NaHCO_3$ :n nauttimisella saattaa olla vaikutusta myös insuliinin kaltaisen kasvutekijä-1:n (IGF-1) määrään elimistössä. Kraemer ym. (2000) tutkivat  $NaHCO_3$ :n nauttimisen vaikutusta IGF-1:n ja IGF-sitovaa proteiini-3:n (IGFBP3) määrään veressä. Tutkimuksessa koehenkilöt nauttivat  $NaHCO_3$ :a 0,3 g/kg 75 min ennen kuormitusta, joka tehtiin Wingaten testin mukaelmana. Testissä poljettiin tasaista vastusta vastaan maksimiteholla 90 sekunnin ajan. Verinäytteet kerättiin 0, 5, 10 ja 30 minuuttia kuormituksen jälkeen. Tutkimuksessa huomattiin merkittäviä muutoksia koe- ja placeboryhmän välillä veren laktaattitasossa, veren pH:ssa ja seerumin IGF-1-konsentraatiossa, seerumin IGFBP3-konsentraatiossa ei ollut ryhmien välillä eroa. Tutkimuksen päälöydöksenä voitiin pitää sitä, että maksimaalinen pyöräily ei laskenut seerumin IGF-1 ja IGFBP3-tasoja, mikä oli vastoin tutkijoiden hypoteesia. Viiden minuutin kohdalla kuormituksen jälkeen havaittiin kaiken lisäksi merkittävä piikki IGF-1-tasossa. (Kraemer ym. 2000.)

Vaikka  $NaHCO_3$ :n hyöty kuormitukseen saavutetaan teorian mukaan vasta yli minuutin suorituksissa, on vastaanäyttöä tähänkin hypoteesiin olemassa. Bishop ym. (2003) tutkivat  $NaHCO_3$ :n nauttimisen vaikutusta toistuvassa sprinttikyky-testissä (RSA), jossa koehenkilöt polkivat 5 x 6 s maksimiteholla polkupyöräergometrillä 30 sekunnin lähe-tyksellä.  $NaHCO_3$ :a nauttinut ryhmä erottui lepoveriarvoissa veren  $HCO_3^-$  konsentraatiossa, mutta lepolaktaattitasot olivat ryhmien välillä samat. Levossa otetut lihasbiopsiat eivät paljastaneet eroja ryhmien välillä niin lihaksen laktaattitasoissa kuin puskurointikapasiteeteissa. Kuormituksessa  $NaHCO_3$ :a nauttinut ryhmä sai paremmat tulokset tehdyssä kokonaistyössä ja merkittävästi paremmat arvot työssä ja tehossa suorituksissa kolme, neljä ja viisi. Kuormituksen jälkeisessä lihasbiopsioissa lihaksen pH oli sama, mutta  $NaHCO_3$ :a nauttinut ryhmä sai merkittävästi suuremman lihaksen laktaattikonsentraation. Johtopäätöksenä tutkimuksesta voitiin vetää, että  $NaHCO_3$ :n nauttiminen ei lisää lepotilassa lihaksen pH:ta tai puskurointikapasiteettia, jonka takia suorituskyvyn parantuminen johtunee tehostuneesta  $H^+$ -ionien virtaamisesta lihaksesta vereen. Lisäksi kuormituksen jälkeisessä lihasbiopsiassa havaittu korkeampi laktaattitaso viittaa siihen, että  $NaHCO_3$ :n nauttiminen tehostaa anaerobista energiantuottoa lihaksessa myös RSA-suorituksessa. (Bishop ym. 2003.)

Tuoreen, syksyllä 2010 julkaistun tutkimuksen mukaan,  $\text{NaHCO}_3$ :n nauttiminen voi aiheuttaa harjoittelun seurauksena muutoksia mitokondrioissa rotilla. Bishop ym. (2010) tutkivat  $\text{NaHCO}_3$ :n nauttimisen vaikutuksia rottien mitokondrioihin soleus ja extensor digitorum longus (EDL) lihaksissa. Tutkimuksessa rottia harjoitettiin viiden viikon ajan ja  $\text{NaHCO}_3$ :n nauttineet rotat väsyivät hitaammin ja niiden soleusten pyruvaatti-taso kolmen hengitys, eli ADP-stimuloitu soluhengitys, jossa pyruvaatti on substraattina.  $\text{NaHCO}_3$ :n nauttineet ja placebo-ryhmän rotat saivat vastaavasti EDL:ssa kontrolliryhmää pienempiä arvoja. Soleuksen muutokset säilyivät merkitsevinä senkin jälkeen, kun hengityksen tulokset suhteutettiin sitraattisyntaasi-aktiivisuuteen, joka on indikaattori mitokondrioiden massasta. Nämä löydökset viittasivat siihen, että juoksun aikainen lihasten vetyionien kertyminen liittyy suurempaan kehitykseen mitokondrioiden massassa ja mitokondrioiden soluhengityksessä soleus-lihaksessa. (Bishop ym. 2010.)

### **2.2.2 Käytöstä aiheutuvat haitat**

$\text{NaHCO}_3$ :n nauttimisella on olemassa tiettyjä haittavaikutuksia, jotka liittyvät lähinnä välittömiin nauttimisen jälkeisiin reaktioihin ruuansulatuskanavassa.  $\text{NaHCO}_3$ :n nauttimisen on todettu aiheuttavan pahoinvointia, oksentelua, turvotusta ja ripulia (Siegler ym. 2010, Raymer ym. 2004, Stellingwerff ym. 2007). Oireet vahvistuvat nautitun  $\text{NaHCO}_3$ -annoksen kasvaessa, ja on todettu, että 0,3 g/kg on suurin annos, jossa koetut oireet eivät tule haittaavina ja häviävät alle tunnissa, vaikutuksen ollen yhä tehokas suorituksen kannalta (Siegler ym. 2010).

## **2.3 NATRIUMBIBIKARBONAATTI UINNISSA**

### **2.3.1 Miksi natriumbikarbonaattia tulisi käyttää uinnissa?**

Uinnissa yksi tärkeimmistä suorituskykyyn vaikuttavista asioista on anaerobisen energiantuoton tehokkuus, laktaatin sieto ja -poisto. Useimmat uintimatkoista ovat kestoaltaan 20–260 s (50m-400m), joissa anaerobisen energiantuoton osuus on merkittävä. Tämän

osalta natriumbikarbonaatin nauttimisella voidaan mahdollisesti saavuttaa etua uinnissa suoritusten keston perusteella.

Toinen näkökulma  $\text{NaHCO}_3$ :n käytöstä uinnissa on uinnin harjoitustyyli. Uintiharjoittelu suoritetaan lähes poikkeuksetta intervallityyppisesti, ja täten  $\text{NaHCO}_3$ :n mahdollinen suorituskestävyyttä toistuvissa kuormituksissa parantava vaikutus on oleellinen uintiharjoittelun kannalta.

### **2.3.2 Natriumbikarbonaatin vaikutukset uintisuoritukseen**

Natriumbikarbonaatin vaikutuksia uintisuoritukseen on tutkittu usean eri tutkijaryhmän voimin. Iso-Britanniassa tehty Lindhin ym. (2008) tutkimus tutki  $\text{NaHCO}_3$ :n vaikutusta 200m vapaauintiin maailmanluokan uimareilla. Uimarit nauttivat 0,3 g/kg  $\text{NaHCO}_3$ :a 90–60 minuuttia ennen suoritusta liivatekapseleihin pakattuna ennen 200 m vapaauintikisaa. Koehenkilöt toimivat itsensä kontrolli- ja placeboryhminä, joten jokainen teki saman testin kolmeen kertaan.  $\text{NaHCO}_3$ :n nauttimisella saatiin merkittävä parannus yksittäisen uintisuorituksen aikaan:  $1.52.2 \pm 4.7$ ;  $1.53.7 \pm 3.8$  (kontrolli);  $1.54.0 \pm 3.6$  (placebo).  $\text{NaHCO}_3$ :n nauttiminen nosti veren emäsyylimäärää, pH:ta ja bikarbonaattitasoa ennen suoritusta. Testin jälkeiset laktaattitasot olivat merkittävästi korkeammat  $\text{NaHCO}_3$ :a nauttimisen jälkeen. (Lindh ym. 2008.)

Gao ym. (1988) tutkivat  $\text{NaHCO}_3$ :n vaikutusta intervalliuimiseen käyttäen viittä 100 jaardin maksimaalista uintia kahden minuutin levolla. Tutkimuksen tulokset myötäilivät Bishop ym. (2003) tehtyä tutkimusta, jossa tutkittiin juoksijoilla 5 x 6 s juoksuja 30 sekunnin palautuksella.  $\text{NaHCO}_3$ :a nauttineet erottuivat selvästi suorituskyvyssä neljännessä ja viidennessä uinnissa ja heidän veriarvonsa – veren pH, laktaatti, bikarbonaatti ja emäsyylimäärä – olivat muita ryhmiä korkeammat. (Gao ym. 1988.)

Natriumbikarbonaatin annostusta uimareilla on myös tutkittu. Triplett-McBride ym. (2003) tutkivat kuinka neljä eri natriumbikarbonaatin annoskokoa vaikutti uimarin päämatkan tulokseen. Annoskoot olivat 0.0, 0.1, 0.2 ja 0.3 g/kg. Uimareiden päämatkat olivat 100, 200 ja 400 jaardia ja annokset jaettiin siten, että 100 jaardin uimarit saivat 0.1 g/kg, 200 jaardin 0.2 g/kg ja 400 jaardin 0.3 g/kg. Koehenkilöt uivat 1100 jaardin

alkuverryttelyn, jota seurasi oma päämatka. Tämän jälkeen koehenkilöt uivat 800 jaardin loppuverryttelyyn. Tutkimuksessa seurattiin myös koehenkilöiden kokemia sivuvaikutuksia 10 minuutin välein aineen nauttimisesta aina 20 minuuttia uinnin jälkeen saakka. Tulokset osoittivat, että kaikki annoskoot vaikuttivat positiivisesti uimarin suoritukseen. 100 jaardin uimarille 0.2 g/kg oli tehokkain annos, joskin 0.1 g/kg oli lähes yhtä tehokas. 200 jaardin uimarille 0.3 g/kg oli tehokkain, mutta hieman yllättäen 400 jaardin uimarille tehokkain oli 0.1 g/kg. Sivuvaikutukset kasvoivat annoskoon myötä: 0.1 g/kg annoksella oireita koki 6 henkilöä, 0.2 g/kg 10 henkilöä ja 0.3 g/kg 27 henkilöä. Tutkimuksen tulokset viittasivat siihen, että tehokkain annoskoko riippuu suuresti uitavasta matkasta. (Triplett-McBride ym. 2003.)

NaHCO<sub>3</sub>:n käyttöä on tutkittu yhdistettynä eri aineiden käyttöön. Tutkimuksia aiheesta on ainakin kofeiinin ja kreatiinin osalta. Pruscino ym. (2008) tutkivat NaHCO<sub>3</sub>:n ja kofeiinin vaikutusta 2 x 200m vapaauintitestissä 30 min välipalautuksella. Koehenkilöinä tutkimuksessa oli kuusi kansallisen tason miesuimaria. Tutkimuksessa suoritettiin neljä testiä: placebo, kofeiini, NaHCO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub>+kofeiini. Tuloksina todettiin, että pelkän kofeiinin nauttiminen saattaa enemmänkin hidastaa toista suoritusta ja vaikuttaa positiivisesti ensimmäiseen hyvin vähän. NaHCO<sub>3</sub>-annos ja yhdistelmäannos olivat tehokkaampia kuin pelkkä kofeiini siten, että yhdistelmäannos NaHCO<sub>3</sub>:a ja kofeiinia toi lähes saman tuloksen kuin pelkkä NaHCO<sub>3</sub>, ollen vain 0,3 % tehokkaampi. (Pruscino ym. 2008.)

Mero ym. (2004) tutkivat NaHCO<sub>3</sub>:n ja kreatiinin yhteisvaikutuksia intervalliuinnissa. Tutkimuksessa käytettiin 16 mies- ja naisuimaria paikallisesta uimaseurasta. Koehenkilöt suorittivat kahtena mittauskertana 2 x 100 metrin maksimaalisen vapaauintin 10 minuutin passiivisella palautuksella. Mittauskertojen väli oli yksi kuukausi, jotta kreatiini ehtisi poistua elimistöstä. Aineiden nauttimisella ei ollut vaikutusta ensimmäiseen suoritukseen, mutta toisessa 100 metrisessä NaHCO<sub>3</sub>:a ja kreatiinia nauttineet uivat keskimäärin 0,9 s nopeammin kuin placeboryhmä. Lisäksi aineyhdistelmän nauttineilla oli korkeammat veren pH-arvot ja keskimääräiset laktaattiarvot. (Mero ym. 2004.)

## 2.4 BEETA-ALANIINI JA KARNOSIINI

*Beeta-alaniini* eli 3-propionihappo on aminohappo, jonka aminoryhmä kiinnittyy kolmanteen hiileen eli beetaan. Alfa on aminohappomuodoista yleisempi eli aminoryhmä kiinnittyy tällöin toiseen hiileen. Beeta-alaniinia ei käytetä juurikaan proteiinisynteesissä ja se on tiettävästi ainoa beeta- muotoinen aminohappo, jota saadaan ravinnosta. Liharuuat, jotka sisältävät proteiineja, kuten kana, naudanliha tai kala, ovat lähteitä beeta-alaniinille. Ihmisen maksa pystyy myös syntetisoimaan beeta- alaniinia kataboliatuotteista. (Harris ym. 2006, Derawe ym. 2007.)

*Karnosiini* (b-alanyl-L-histidine) on sytoplasminen dipeptidi jota on suurina pitoisuuksina elimistön kaikissa lihaksissa sekä keskushermostossa. Se muodostuu nimensä mukaisesti beeta-alaniinista ja histidiinistä. Karnosiinille on löydetty useampiakin fysiologisia vaikutustekijöitä joista lihassolun sisäinen pH puskurointi on erittäin merkittävä tekijä. (Begum ym. 2005, Harris ym. 2006, Derawe ym. 2007.) Hyvän pH puskurin karnosiinista tekee sen pK arvo (6,83) joka on erittäin lähellä lihasoluissa vallitsevaa pH:ta, joten sen kyky reagoida sekä happamien, että emäksisten tuotteiden kanssa on siksi huippuluokkaa (Hill ym. 2006). Begumin ym. (2005) mukaan karnosiini toimii myös antioksidanttina sekä mahdollisesti vaikuttaa kalsiumkanavien herkkyyden säätelyyn, jolla saattaa olla vaikutusta urheiluun, mutta pidemmän aikavälin tutkimukset vielä puuttuvat.

### 2.4.1 Beeta-alaniinin nauttimisen vaikutukset

Useat tutkimusryhmät (Harris ym. 2006, Hill ym. 2006, Derawe 2007.) ovat arvelleet, että hyöty joka beeta-alaniinista urheilusuorituksiin saadaan, perustuu karnosiinipitoisuuksien lisääntymiseen, erityisesti luurankoliha-ksissa. Karnosiini puolestaan on erittäin tärkeä solun sisäinen puskuri (Begum ym. 2005). Yhden tuoreimmista arveluista karnosiinin merkityksestä lihaksen sisäiselle happamuuden puskuroinnille on esittänyt Tallon ryhmineen (2005). Heidän mukaansa karnosiinin merkitys lihasten kokonaispuskurointi kapasiteetista olisi noin 20 %. Koehenkilöinä heillä oli 6 kehonrakentajaa, joilla liikuntaa harrastamattomiin verrattuna karnosiinitasot olivat noin kaksinkertaiset.

Nauttimalla beeta-alaniinia, lihaksen sisäisiä karnosiini määriä on saatu nostettua 20–30 % kahdessa viikossa, 40–60 % neljässä viikossa ja 80 % 10 viikossa 4-6g/ päivä annostuksella (Harris ym. 2006, Hill ym. 2006.) Harris ym. (2006) toteavat tutkimuksessaan nimenomaisesti beeta-alaniinin saannin rajoittavan karnosiinin muodostumista lihaksissa.

Baguet ym. (2009) selvittivät karnosiinin poishuhtoutumisaikaa elimistöstä. Tutkimuksessa tuli esille myös se, että osa ihmisistä oli ”high respondereita” ja osa ”low respondereista” beeta-alaniinin nauttimisen suhteen. ”High respondereilla” karnosiini määrät kohosivat keskimäärin 55 % viidessä viikossa ja ”low respondereilla” 15 %. poishuhtoutumisajat olivat ”low respondereilla” 2,5 % viikossa jolloin kokonaishuhtoutumisaika olisi 6,5 viikkoa. High respondereilla huuhtoutumista tapahtui 3,5 % viikossa, jolloin kokonaishuhtoutumisajaksi muodostuisi 14,6 viikkoa. Huomattavaa oli myös, että kolmen viikon kuluttua keskimäärin vain 31,8 % useamman lihaksen keskiarvoistetuista karnosiinipitoisuuksista oli hävinnyt. Harris ym. (2006) tutkimuksessa 20 % koehenkilöistä (kolme viidestätoista) reagoi suplementaatioon muusta koeryhmästä eroten. Yhdellä karnosiini määrät eivät nousseet ollenkaan ja kahdella karnosiini määrät nousivat muihin verrattuna 2,5-3 kertaiseksi.

## 2.4.2 Haittavaikutukset

Harris ym. (2006) raportoivat, että suurempien kuin 800 mg kerta-annoksien beeta-alaniinia on yleisesti havaittu aiheuttavan kihelmöinnin tunnetta. Kerta-annoksen ylärajana voi pitää noin 40mg/kg, joka aiheutti suurimmalla osalle koehenkilöitä liian epämiellyttäviä tuntemuksia. Tuntemukset kestävät kerrallaan maksimissaan noin tunnin verran. Nämä asiat luonnollisesti vaikeuttavat koehenkilöiden satunnaistamiseen liittyviä seikkoja. Päivittäinen annostelu on siis jaettava useampaan erään. Samassa tutkimuksessa neljän viikon beeta-alaniini tankkauksen (4x800mg/päivä) ei havaittu muuttavan veren muuttujia ainakaan negatiivisempaan suuntaan. (Harris ym. 2006.) Beeta-alaniinin on havaittu jakavan sama kuljettajaproteiini solun sisälle tauriinin kanssa. Joten teoriassa beeta-alaniinin nauttiminen voi hidastaa tai vähentää tauriinin imeytymistä (Harris ym. 2006). Kuitenkaan Hill ym.(2006) tutkimuksessa tauriinitasot eivät

tippuneet 10 viikon aikana. Yli 10 viikon tutkimuksia beeta-alaniinin käytöstä ei ilmeisesti ole tehty, joten pitkäaikaisvaikutuksia ei täysin voida tietää. Siitä huolimatta Harris ym. (2006) toteavat beeta-alaniinista, että kyseessä on aminohappo ja lähes samoja annostuksia on mahdollista saada tietynlaisella ruokavaliolla, joten hyvin todennäköisesti beeta-alaniinin lisänauttiminen ei ole haitallista myöskään pitkällä aikavälillä.

## **2.5 BEETA-ALANIINI URHEILUSSA**

Suzuki ym. (2002) tutkivat lihasten karnosiinipitoisuuksien yhteyttä korkea intensiteet-tisen suorituksen tehokkuuteen ja havaitsivat, että korkea karnosiinipitoisuus korreloi hyvän suorituskyvyn kanssa polkupyöräergometrillä mitattuna. Samaan tulokseen tulivat myös Baguet ym. (2010). Korkeammat karnosiinitasot korreloivat heidän mukaan soutuajien suorituskyvyn mukaan ainakin matkoilla 6000 m asti. Useammat tahot (Harris ym. 2006, Hill ym. 2006, Baguet ym. 2010) ovat todenneet beeta-alaniinin nauttimisen nostavan karnosiini-tasoa, joten ei ole ihme, että beeta-alaniinista ollaan urheilupiireis-sä kiinnostuneita.

### **2.5.1 Beeta-alaniini ja suorituskyky urheilussa**

Jordan ym. (2010) tutkivat beeta-alaniinin vaikutusta OBLA:n (onset of blood lactate accumulation) nousevassa kuormituksessa juoksumatolla. Tutkimukseen osallistui seitsemäntoista miestä. Beeta-alaniinin määrä vuorokaudessa oli 6 g ja kuuri kesti 28 päivää. Beeta-alaniini ryhmällä keskimääräinen syke, jolloin OBLA saavutettiin, muuttui merkittävästi 161,6 173,6:iin. Plaseboryhmällä merkittävää muutosta ei ollut. Myös prosentuaalinen osuus maksimisykeestä OBLAAN nähden parani beeta-alaniini ryhmällä 83,0 %:sta 88,6 %:iin). VO<sub>2</sub>max pieneni 4,57 l/min 4,31 l/min mutta prosentuaalinen osuus kasvoi ennen kuin OBLA saavutettiin 69,1 %:sta 75,6 %:iin. Myös kehon massa lisääntyi keskimäärin 0,4 kg beeta-alaniini ryhmällä. Yhteenvetona ryhmä totesi, että käytettäessä beeta-alaniinia lisäravinteena 28 päivän ajan submaksimaalinen suorituskyky nousee, koska OBLAA saadaan viivästettyä. Tämä tarkoittaisi mahdollisesti, että ainakin harjoittelu voitaisiin suorittaa kovemmillä tehoilla kuin aiemmin. Aerobinen kapasiteetti tässä tutkimuksessa kuitenkin laskee hieman. Zoeller ym. (2007) tutkimuk-

sessä huomattiin myös, että beeta-alaniinia nauttimalla laktaattikynnystä saatiin nostettua, vaikka samassa tutkimuksessa tilastollisesti merkitseviä eroja suorituskyvyn suhteen ei tullutkaan. Tutkimusryhmällä oli kuitenkin muista tutkimuksista melko paljon poikkeava vuorokausiannostelu eli vain 1,6 g/vrk.

Smith ym. (2009) selvittivät HIIT harjoittelun ja sen yhteydessä beeta-alaniinin latausjakson merkitystä. 46 mieheltä mitattiin VO<sub>2</sub>peak, aika väsymiseen (time to fatigue VO<sub>2</sub>TTE), sekä kokonaisuudessaan tehty työ (total work done at 110 % of pre-training VO<sub>2</sub>peak TWD). Ryhmä jaettiin beeta-alaniinin käyttäjiin ja plaseboryhmään. Annostelu oli yhteensä 6 g/päivässä. Ensimmäisen 3 viikon harjoittelu jakson ajan annostelu oli neljästi päivässä ja jälkimmäisessä harjoittelujaksossa annostelu oli kahdesti päivässä. Harjoittelu tapahtui 3 kertaa viikossa 5-6 sarjaa 2:1 minuutin sykleissä. Eli 2 minuuttia työtä 1 lepoa. Molemmissa ryhmissä tapahtui merkittävää kehitystä VO<sub>2</sub>peak:ssä, VO<sub>2</sub>TTE:ssä, ja TWD:ssä kolmen viikon harjoittelun jälkeen. Merkittävää Samoissa muuttujissa sekä kehon kiinteässä massassa tapahtui kehitystä vielä toisessakin kolmen viikon harjoittelussa beeta-alaniinia nauttineella ryhmällä. Lisäksi beeta-alaniini ryhmällä kiinteä massan määrä lisääntyi 1kg kuudessa viikossa, plasebo ryhmällä massassa ei muutoksia tapahtunut.

Amerikkalaisen jalkapallon collegetasoisilta pelaajilta selvitettiin beeta-alaniinin vaikutusta anaerobisiin ominaisuuksiin harjoittelujakson aikana. Latausjakso aloitettiin 3 viikkoa ennen harjoittelujaksoa ja jatkettiin 9 päivän harjoitteluleirin aikana. Mittaukset tehtiin 60 sekunnin Wingate testillä sekä 3x200 yardin juoksulla 2 min palautuksella. Lisäksi harjoittelumäärät ja subjektiiviset tunteet kerättiin ylös. Anaerobisissa testeissä ei havaittu merkittäviä eroja ryhmien välillä, Wingatessa kuitenkin oli trendiä beeta-alaniini ryhmän eduksi. Merkittäviä eroja ryhmien välillä kuitenkin beeta-alaniini eduksi näkyi harjoittelu volyymissä sekä subjektiivisesti koetussa väsymisen tunteessa. (Hoffman ym. 2008.)

Hill (2006) ryhmineen osoitti beeta-alaniinin parantavan 150 s maksimaalisessa polku-pyöräergometrillä tehdyssä testissä suorituskyvyn paranevan beeta-alaniinia nauttimalla. kokonaistyömäärä TWD (total work done) parani 4. viikossa 13,0 % ja 10 viikossa 16,2 % sekä uupumisaika TTE (total time to exhaustion) kasvoi 7,5 % ja 10,2 % samassa ajassa.



Derawe ym. (2007) osoitti 15 miespuolisella urheilijalla, jotka nauttivat beeta-alaniinia 4,8 g/päivässä, että karnosiinipitoisuus nousi Soleuksessa 47 % ja gastrocnemiuksessa 37 %. Plasebo ryhmässä soleuksessa ei noussut lainkaan ja gastrocnemiuksessa 16 %. Suoritustasoja mitattiin isokineettisellä viidellä sarjalla 30 toiston maksimaalisella polven ojennuksella, maksimaalisella isometrisellä kestävyydellä joka suoritettiin 45 % maksimista (eli väsytyks) ja 400m juoksuajalla. Isokineettisissä suorituksissa vääntötuoksissa 4. ja 5. sarjassa näkyi selvää kehitystä beeta-alaniinia nauttineilla plaseboryhmään verrattuna. Isometrisissä suorituksissa ja 400m juoksu suorituksissa tilastollisesti merkitsevää eroa ei ollut beeta-alaniini ja plasebo ryhmän välillä. Myöskään lyhyisiin juoksusprintti suorituksiin ei beeta-alaniinilla näyttäisi olevan mitään vaikutusta. Sweeney ym. (2010) tutkivat onko viiden viikon beeta-alaniini lataamisella (4-6 g/päivä) vaikutusta 2x 5x5 sekunnin sprinttijuoksuun. Mitään eroja beeta-alaniini ja kontrolliryhmän välille ei noussut esille.

Stoutin ryhmä (2007) pystyi osoittamaan polkupyöraergometrillä tehdyssä time-to-exhaustion (TTE) testissä, että beeta-alaniinista on selkeästi hyötyä. TTE-aika parani keskimäärin lähes 30 s. eli 2,5 %. Maksimaaliseen hapenotto-kykyyn ei beeta-alaniinilla näyttänyt olevan lainkaan vaikutusta.

Yksi tuoreimpia tutkimuksia beeta-alaniinista on Baguet ym. (2010) tutkimus soutajista. 2000 m soutajat jotka olivat lähtökohtaisesti 0,3 s hitaampia kuin kontrollit, saavuttivat beeta-alaniinin (7 viikkoa 5g päivä) avulla 4,3 s paremman ajan loppumittauksessa.

Beeta-alaniini ja natriumbikarbonaatin yhteisvaikutusta on tutkinut Sale ym. (2011). Heidän polkupyöraergometrillä tehdyssä time-to-exhaustion (TTE) testissä beeta-alaniinilla saavutettiin 12,1 % parannus ja yhdistelmällä 16,2 %. Ero pelkän beeta-alaniinin ja beeta-alaniinin ja natriumbikarbonaatin yhdistelmän välillä ei ollut kuitenkaan merkitsevä, mutta antoi 70 % todennäköisyyden että yhdistelmällä on positiivinen vaikutus verrattuna pelkään beeta-alaniiniin.

### 2.5.2 Beeta-alaniini ja uinti

Suoraa tutkimusta beeta-alaniinista ja uinnista ei tiettävästi vielä ole tehty. Aika 100m vapaauintiin kerrallaan on noin 50–60 sekuntia. Suunnilleen samanmittaisia suorituksia ovat tutkineet oikeastaan vain Derawe ym. (2007) ja Hoffman ym. (2008). Derawe ym. totesivat että 400m juoksussa ei merkitseviä muutoksia ollut tapahtunut suplementaatiolla. Hoffman ym. (2008) puolestaan totesivat nousevaa trendiä Wingate 60s polkupyöräergometritestissä beeta-alaniini ryhmälle mutta tilastollisesti merkitseviä tuloksia ei saatu. Baguet ym. (2010) pohtivat, että heidän tutkimuksen perusteella 400m ja 800m uimarit sekä 1500m ja 3000m juoksijat voisivat hyötyä beeta-alaniinista, aika kun niissä on suunnilleen samaa luokkaa kuin 2000m soudussa (Baguet ym. 2010). Kaiken kaikkiaan urheilijoilla tehtyjä tutkimuksia beeta-alaniinista on vielä vähän.

### 3 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

#### *Tutkimusongelmat*

**1. Vaikuttaako natriumbikarbonaatin nauttiminen 2 x 100 metrin maksimaaliseen uintisuoritukseen?**

*Hypoteesi*

Natriumbikarbonaatin nauttiminen vaikuttaa suoritusta parantavasti todennäköisesti jälkimmäiseen suoritukseen, mitä puoltaa näyttö aiemmista tutkimuksista. Mahdollisesti se voi myös vaikuttaa ensimmäiseen suoritukseen. Kahden maksimaalisen 100 m:n uintisuorituksen jälkimmäisen vedon parantumisen ovat osoittaneet mm. Mero ym. (2004) ja Gao ym. (1988). Yksittäisen uintisuorituksen parantuminen on todettu Lindh ym. (2008) tutkimuksessa, joskin 200 m uinnissa.

**2. Vaikuttaako beeta-alaniinin nauttiminen 2 x 100 metrin maksimaaliseen uintisuoritukseen?**

*Hypoteesi*

Beeta-alaniinin nauttimisen on todettu parantavan lihaksen sisäistä puskurointi kykyä (Harris ym. 2006, Hill ym. 2006), joten oletettavasti ainakin jälkimmäisen suorituksen tulos on parempi kuin ilman nauttimista. Beeta-alaniinin nauttiminen saattaa vaikuttaa myös ensimmäiseen suoritukseen.

**3. Vaikuttaako natriumbikarbonaatin ja beeta-alaniinin samanaikainen nauttiminen 2 x 100 metrin maksimaaliseen uintisuoritukseen enemmän kuin niiden erikseen nauttiminen?**

*Hypoteesi*

Yhdistetty natriumbikarbonaatin ja beeta-alaniinin nauttiminen tuottaa tehokamman vasteen kuin aineiden erikseen nauttiminen. Molemmat aineista ovat tunnistettuja puskuriaineita ja molempien käytöstä erikseen on vahvaa näyttöä happoemäspuskuroinnissa. Täten voidaan olettaa, että molempien nauttiminen aiheuttaa kumuloidun vaikutuksen ja nähdään suurimmat erot mittaustuloksissa. Yhdistelmäannoksen hyötyä on tutkittu muilla puskuriaineyhdistelmillä, kuten

natriumbikarbonaatin ja kreatiinin yhdistämisellä (Mero ym. 2004) ja natriumbikarbonaatin ja kofeiinin yhdistämisellä (Pruscino ym. 2008).

#### **4. Mitkä ovat natriumbikarbonaatin ja beeta-alaniinin fysiologiset vaikutukset happo-emästasapainoon?**

##### *Hypoteesi*

Natriumbikarbonaatti nostaa veren pH-arvoa, emäsyylimäärää ja bikarbonaatti-ionikonsentraatiota. Tämä on todettu yleisesti asiaan liittyvissä tutkimuksissa. Natriumbikarbonaatin nauttiminen vaikuttanee myös  $\text{Na}^+$ - ja  $\text{K}^+$ -ionikonsentraatioihin. Natriumbikarbonaatin nauttimisen on todettu vaikuttavan natrium-kaliumpumpun toimintaan ja tämä ilmiö voi ilmetä tutkimuksessa (Sostaric ym. 2006). Beeta-alaniinin nauttimisen on todettu vaikuttavan lihaksen sisäisen karnosiinin määrään, joka toimii intrasellulaarisena happamuuden puskurina. (Harris ym. 2006, Hill ym. 2006, Derawe 2007). Suurimmat muutokset tapahtuvat siten solun sisällä, joten myös suorituksen jälkeen verestä mitattavat muutokset voisivat olla todennäköisesti suurempia. Asiasta ei ole aikaisempaa tutkimusnäyttöä.

## 4 METHODS

### 4.1 Subjects

Subjects (n=13, Table 1) were all male swimmers from the local swimming club. The swimmers trained in the same training group and one half of them were distance swimmers and another half sprint swimmers. The subjects trained on average 9-10 times per week in 2 hour sessions. Maximum training load for one week was 11 training sessions. The training program is presented in appendix 1. The anthropometric measurements were made on a separate day at Viveca laboratory. The subjects were asked to fast and drink only water for 12 hours before the measurements. Height measurements were done with a calibrated tape measure. Body weight and composition measurements were made with InBody (InBody720 body composition analyzer, Biospace Co. Ltd, Seoul, South Korea). The subjects wore only their underwear and came to the measurement with an empty bladder therefore ensuring that no excess water would be in their body. The average body mass index of the subject group was 22.7. All subjects were told the outlines and requirements of the study beforehand. The study was approved by the Ethics committee of the University of Jyväskylä.

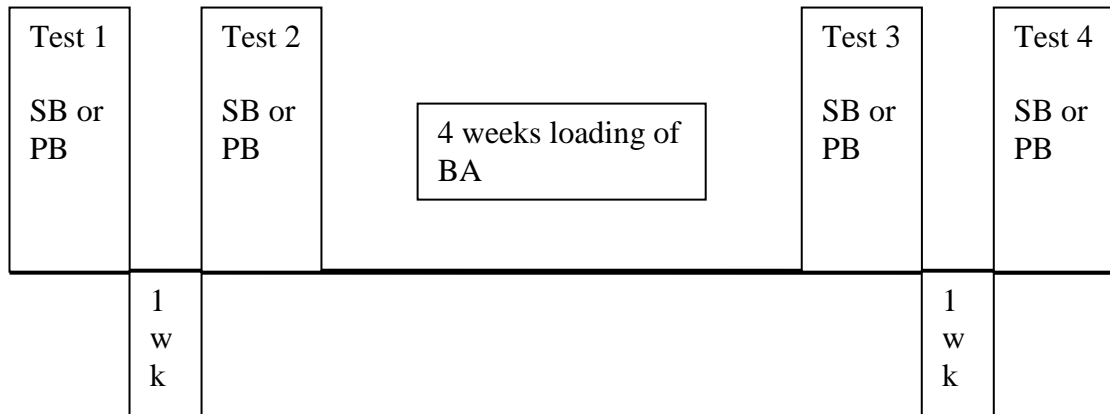
**TABLE 1.** Subject characteristics.

Variable	
Age (yr)	20.5 ± 1.4
Weight (kg)	80.1 ± 8.1
Height (cm)	187.9 ± 8.2
Fat (%)	9.2 ± 4.1
100 m freestyle record (s)	54.4 ± 2.4

### 4.2 Experimental design

Each subject swam the swimming test of 2 x 100 m freestyle with 12 min recovery four times. The first two tests were done with either sodium bicarbonate or placebo on the test day. The first two tests were separated by one week. After the first two tests, there

was a beta-alanine loading period of four weeks. After that time, there were the last two tests, similar as the first two. In these tests, the subjects again received sodium bicarbonate or placebo on the test day. The experimental design is shown in figure 6.



**Figure 6.** The experimental design. SB = Sodium bicarbonate supplementation, PB= Placebo supplementation, BA=Beta-alanine supplementation.

The subjects ingested gelatine covered capsules containing sodium bicarbonate approximately 1g/capsule. The exact dosage was 0.3 g/kg body weight. The placebo was calcium carbonate, also in gelatine covered capsules and containing similar amount of substance. The capsules were filled with either sodium bicarbonate or placebo (calcium carbonate) by the researchers. The filling was performed in Viveca laboratory. The capsules were weighted to ensure the correct amount of substance in each capsule. Sodium bicarbonate and calcium carbonate were acquired from the local pharmacy (Jyväskylä, Finland). Beta-alanine for the research was provided by Manninen Nutraceuticals (Oulu, Finland).

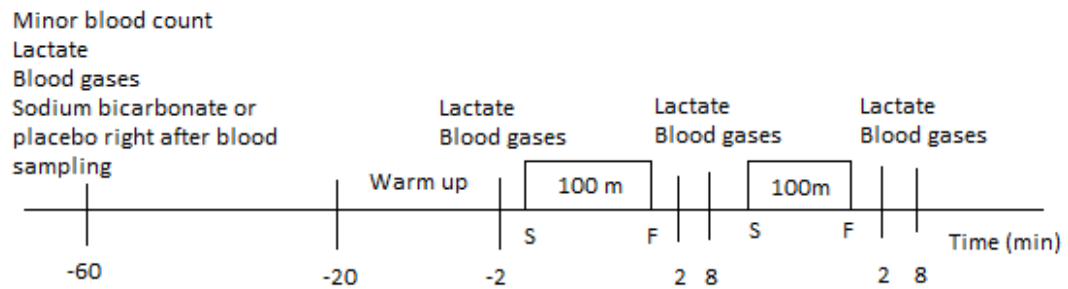
In the loading period of beta-alanine, each subject was given 0.6 grams of beta-alanine in gelatine coated capsules. They ingested 8 capsules each day in 1.5 - 2 hour intervals throughout the loading period; therefore the total consumption of beta-alanine per day was 4.8 g. They were told to take the capsules at the same time every day if possible. The subjects were told that some were taking a placebo instead of beta-alanine but actually everybody was consuming beta-alanine. This was needed for our test design to work out. Beta-alanine is a bit tricky supplement because it has a very slow washout rate; only 2.5-3.5 % a week (Harris et. al 2006). Therefore a complete randomization in the study was impossible.

The subjects were told to keep a food diary for 24 hours prior to the tests. The subjects were told to eat similarly prior to each test which was supervised by the researchers. All the measurements were made in the beginning of the week (Monday & Tuesday), mostly because the swimmers had rest on Sundays and therefore the beginning of the week was the best time to make the tests. The training during the study was recorded and is presented in appendix 1.

### **4.3 Test day**

On the test day two subjects came at the same time to the pool. The pairs were told to arrive in 45 minute intervals to ensure a fluent flow of testing. The testing took place between noon and 7 PM. The pool was a 50 m pool with eight lanes and the tests were made using only the middle lanes 4 and 5. The water temperature during the tests was 26.5-27.0° C. The subjects showed their food diaries and they were reviewed briefly on site and more accurately later on. Rest blood samples were taken at first followed by the ingestion of either sodium bicarbonate or placebo in a few minutes. The subjects waited for 40 minutes resting by the pool. Easy stretching was allowed during this time. After 40 minutes the subjects went to the pool to perform an 800 m standardized warm-up (see appendix 2).

After the warm-up the actual test began. The swimmers were put into pairs to maximize their swim. The swimmers were paired by using their individual records in 100 m freestyle. The test itself consisted of 2 x 100 m freestyle sprints with a 12 min passive rest interval in between. They were told to swim maximally already in the first swim. Before the first swim a blood sample was taken. Subjects were also advised to tell the researchers if they suffered any side effects. Blood samples were taken two and eight minutes after the first swim and also two and eight minutes after the second swim. The swims were timed with two experienced persons (over 10 years taking times in competitions and training) using stop-watches. The timeline of the test-day is shown in figure 7.



**FIGURE 7.** The timeline of each test day. S: start, F: finish

#### 4.4 Blood collection

Blood samples in the study were taken by a skilled expert in the laboratory. On the test day totally 13 blood samples were taken from every subject. In each six measurement points a blood for gas analysis and a blood for glucose/lactate analysis were taken from all the subjects. These samples were taken in 20  $\mu$ l hemolyzed tubes. The blood for blood gas analysis was taken from capillary blood from fingertip using a 0.2 ml glass capillary tube. In addition, in the first measurement a minor blood count sample was also taken to review the overall health-status of the subjects. The minor blood count samples were taken from brachial vein using a 2 ml EDTA-vacuum tube.

#### 4.5 Blood analysis

Blood [pH], plasma [ $\text{HCO}_3^-$ ], lactate, base excess (BE<sub>ecf</sub>= base excess of extracellular fluid), [ $\text{Na}^+$ ] and [ $\text{K}^+$ ] were analysed from the blood samples. The blood samples were analyzed in the laboratory and all others were analyzed on site at the local swimming pool. The device used to measure the lactate values was an electro-chemical based EKF Biosen C-line Sport (EKF Diagnostic, Magdeburg, Germany). Reported coefficient variation for equipment was 1.5%. Blood gases were analyzed instantly on site using a GEM Premier 3000 (Instrumentation Laboratory, Lexington, MA, USA) that uses a potentiometric system to analyze the samples. The manufacture reports following precision in pH 7.15 level standard deviation is 0.009 and in pH level 7.46 standard deviation is 0.009.



tion is 0.005. When measuring blood Na levels coefficient variation is 0.86 % and blood K levels coefficient variation is 0.71 %.

The minor blood count samples were analyzed the next day with a photometric/calculatory based device, Sysmex KX 21N (Kobe, Japan). For measuring hemoglobin reported coefficient variation is 1.5 % or less with this equipment.

#### **4.6 Nutrition**

The subjects were told to eat normally throughout the study. They were also allowed to take common vitamins and minerals and sports drinks if these were normally a part of their diet. Nutritional sports supplements, except pure protein or carbohydrate, were forbidden during the study. All subjects were told to keep a food diary 24 hours prior to their test. They were told to eat as similarly as possible before each test. The food diaries were analysed by using Nutrica 3.1 –software, but the results were not reported.

#### **4.7 Training**

The subjects were allowed to train normally according to their training program. The long distance swimmers and sprinters had their own training sets, but the overall programming was similar in both groups. The study occurred in the beginning of their training season, so that every subject would be in the same physical condition as others. The swimmers had six training days and one rest day per week. The average amount of training sessions was nine, but some swimmers trained 11 times per week. Average length of one training session was two hours. Three training sessions per week contained a strength training of 60 minutes. The average training week is presented in appendix 1.

#### **4.8 Statistical methods**

All results were analysed with SPSS-statistics program (PASW statistics 17). Means  $\pm$  SDs were calculated and Wilcoxon nonparametric test was used to evaluate the differences between the means. A nonparametric test was chosen because the data was not normally deviated. For the analysis of responders and non-responders we used a time

limit of 0.5 seconds. This time was derived from the error margin of stopwatch timing. The assumed error margin in the use of stopwatches was around 0.2-0.3 seconds. We doubled the amount of error margin and resulted with the time of 0.5 seconds to be the margin for being a high responder. The time of 0.5 second is also a significant difference in 100 meter freestyle swimming, which supports this presumption.

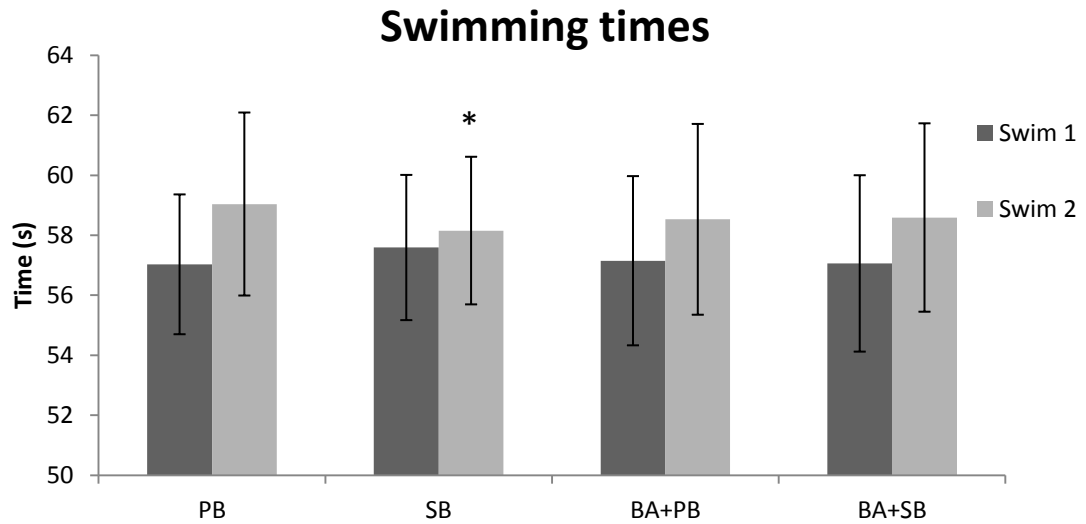
## 5 RESULTS

### 5.1 Swimming times

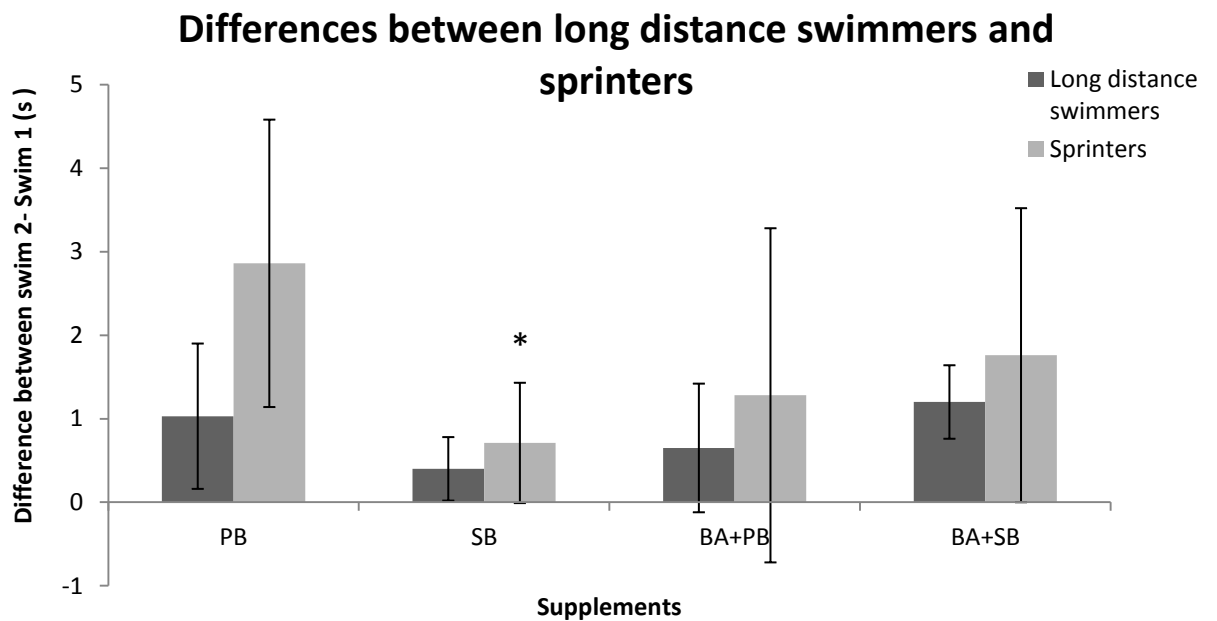
Swimming times have been presented in Table 2 and in Figures 9 and 10. There were no significant differences between the first swims. In the second swim the SB group worsened the least ( $p=0.007$ ) from the first swim. When the results of the long distance swimmers and the sprinters were compared, it was discovered that the sprinters seemed to gain more benefit from the substances than the long distance swimmers. A significant difference was found in the sprinters with SB ( $p=0.046$ ) and in the long distance swimmers near a significance ( $p=0.074$ ).

**TABLE 2.** Swimming times and differences in the supplemented groups (mean $\pm$ SD). \* Indicates a significant difference;  $p < 0.05$  difference compared to PB

	Swim 1	Swim 2	Difference
PB (s)	57.03 $\pm$ 2.33	59.04 $\pm$ 3.05	2.02 $\pm$ 1.64
SB (s)	57.59 $\pm$ 2.42	58.16 $\pm$ 2.46	0.56 $\pm$ 0.77*
BA+PB (s)	57.15 $\pm$ 2.82	58.53 $\pm$ 3.18	1.38 $\pm$ 1.50
BA+SB (s)	57.06 $\pm$ 2.94	58.59 $\pm$ 3.14	1.53 $\pm$ 0.78



**FIGURE 8.** Swimming times in the supplemented groups. \* Indicates a significant difference ( $p < 0.05$ ) compared to the PB.



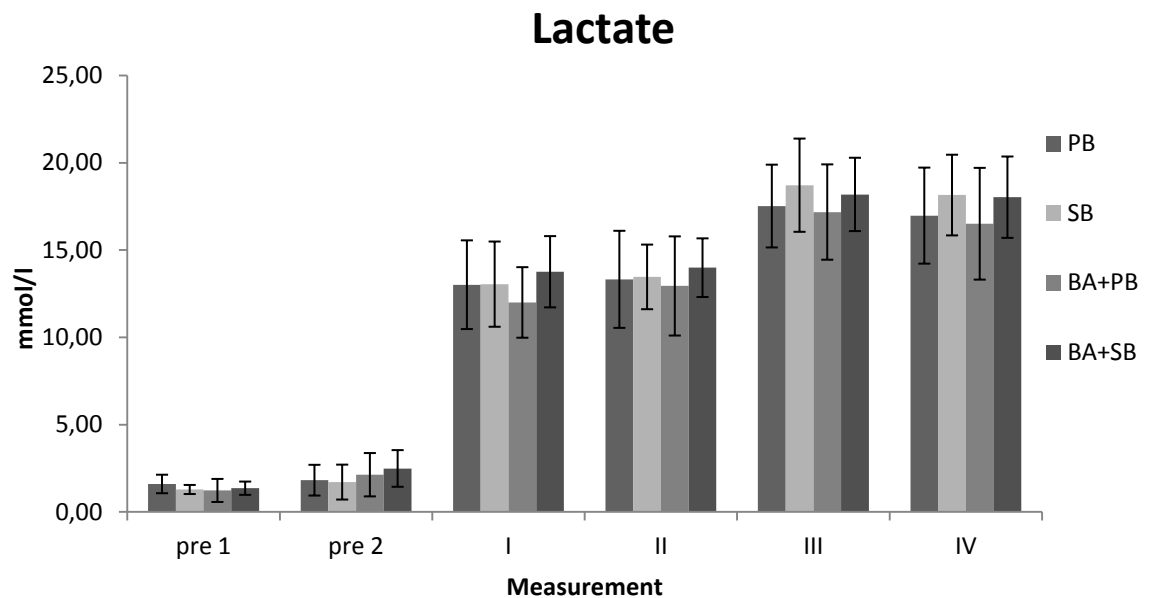
**FIGURE 9.** Differences in swimming times comparing sprinters and long distance swimmers. Values are differences between the second and the first swim. (Swim 2- Swim1). \* Indicates a significant difference ( $p < 0.05$ ) compared to PB. (see also table 2)

## 5.2 Blood lactate and pH

Blood lactate values are shown in table 3 and in figure 10. There were no significant differences between the groups.

**TABLE 3.** Blood lactate values (mmol/l) (mean  $\pm$  SD) in the supplemented groups.

Lactate	PB	SB	BA+PB	BA+SB
pre1	1.55 $\pm$ 0.53	1.33 $\pm$ 0.26	1.21 $\pm$ 0.66	1.38 $\pm$ 0.38
pre2	1.86 $\pm$ 0.88	1.60 $\pm$ 1.00	2.12 $\pm$ 1.24	2.51 $\pm$ 1.05
I	12.95 $\pm$ 2.54	12.96 $\pm$ 2.44	12.08 $\pm$ 2.02	13.70 $\pm$ 2.04
II	13.32 $\pm$ 2.78	13.45 $\pm$ 1.85	12.81 $\pm$ 2.84	13.91 $\pm$ 1.68
III	17.58 $\pm$ 2.37	18.65 $\pm$ 2.67	17.51 $\pm$ 2.73	17.80 $\pm$ 2.10
IV	16.98 $\pm$ 2.75	18.06 $\pm$ 2.31	16.52 $\pm$ 3.20	17.88 $\pm$ 2.33

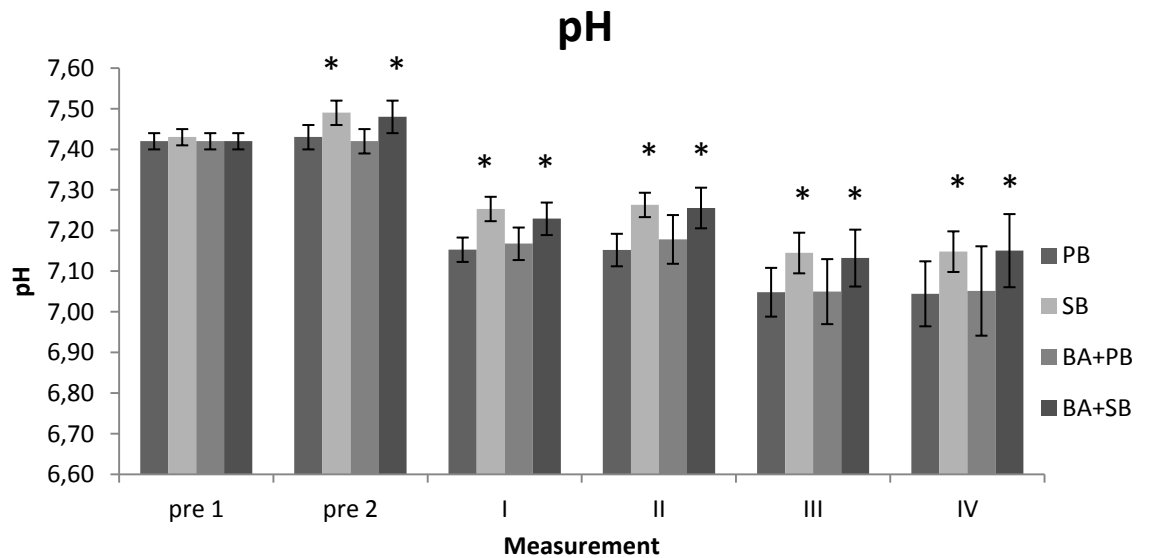


**FIGURE 10.** Blood lactate values (mean  $\pm$  SD) in the supplemented groups.

In the pH values a statistical significance was found in the SB and in BA+SB combination group in all measurement points compared to the PB measurement values (table 4 and in figure 11).

**TABLE 4.** pH values in the supplemented groups (mean  $\pm$  SD). \* Indicates a significant ( $p < 0.05$ ) difference compared to the PB value.

pH	PB	SB	BA+PB	BA+SB
pre 1	7.42 $\pm$ 0.02	7.43 $\pm$ 0.02	7.42 $\pm$ 0.02	7.42 $\pm$ 0.02
pre 2	7.43 $\pm$ 0.03	7.49 $\pm$ 0.03*	7.42 $\pm$ 0.03	7.48 $\pm$ 0.04*
I	7.15 $\pm$ 0.03	7.25 $\pm$ 0.03*	7.17 $\pm$ 0.04	7.23 $\pm$ 0.04*
II	7.15 $\pm$ 0.04	7.26 $\pm$ 0.03*	7.18 $\pm$ 0.06	7.26 $\pm$ 0.05*
III	7.05 $\pm$ 0.06	7.15 $\pm$ 0.05*	7.05 $\pm$ 0.08	7.13 $\pm$ 0.07*
IV	7.04 $\pm$ 0.08	7.15 $\pm$ 0.05*	7.05 $\pm$ 0.11	7.15 $\pm$ 0.09*



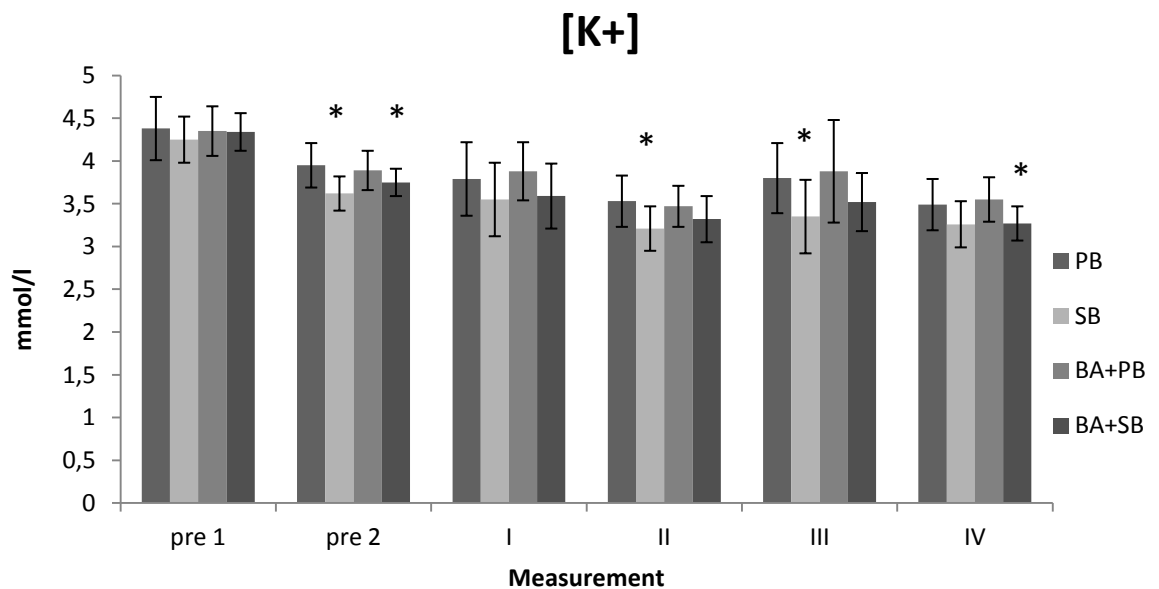
**FIGURE 11.** pH values in the supplemented groups (mean  $\pm$  SD). \* Indicates a significant ( $p < 0.05$ ) difference compared to the PB value.

### 5.3 Blood potassium

There were significant differences in the SB and SB+BA results compared to the PB values (table 5 and figure 12).

**TABLE 5.** Blood potassium values (mmol/l) in the supplemented groups (mean  $\pm$  SD). \* Indicates a significant ( $p < 0.05$ ) difference compared to the PB values.

Potassium	PB	SB	BA+PB	BA+SB
pre 1	4.38 $\pm$ 0.37	4.25 $\pm$ 0.27	4.35 $\pm$ 0.29	4.34 $\pm$ 0.22
pre 2	3.95 $\pm$ 0.26	3.62 $\pm$ 0.20*	3.89 $\pm$ 0.23	3.75 $\pm$ 0.16*
I	3.79 $\pm$ 0.43	3.55 $\pm$ 0.43	3.88 $\pm$ 0.34	3.59 $\pm$ 0.38
II	3.53 $\pm$ 0.30	3.21 $\pm$ 0.26*	3.47 $\pm$ 0.24	3.32 $\pm$ 0.27
III	3.8 $\pm$ 0.41	3.35 $\pm$ 0.43*	3.88 $\pm$ 0.60	3.52 $\pm$ 0.34
IV	3.49 $\pm$ 0.30	3.26 $\pm$ 0.27	3.55 $\pm$ 0.26	3.27 $\pm$ 0.20*



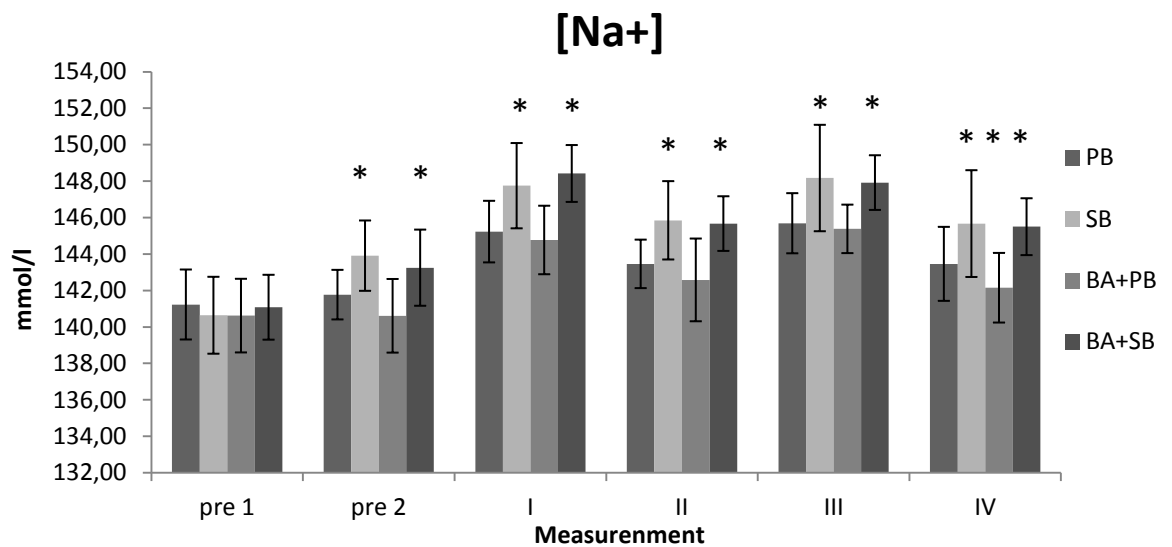
**FIGURE 12.** Blood potassium values (mmol/l) in the supplemented groups (mean  $\pm$  SD). \* Indicates a significant ( $p < 0.05$ ) difference compared to the PB values (see also table 5)

## 5.4 Blood sodium

There were significances in sodium values in SB and in BA+SB in every measurement point (except pre 1) compared to the PB values. Also BA+BP differed in sodium value from PB in the last measurement point (table 6 and figure 13).

**TABLE 6.** Blood sodium values (mmol/l) in the supplemented groups (mean  $\pm$  SD). \* Indicates a significant ( $p < 0.05$ ) difference compared to the PB values.

Sodium	PB	SB	BA+PB	BA+SB
pre 1	141.23 $\pm$ 1.92	140.64 $\pm$ 2.11	140.62 $\pm$ 2.02	141.08 $\pm$ 1.78
pre 2	141.77 $\pm$ 1.36	143.91 $\pm$ 1.93*	140.61 $\pm$ 2.02	143.25 $\pm$ 2.09*
I	145.23 $\pm$ 1.69	147.75 $\pm$ 2.34*	144.77 $\pm$ 1.88	148.42 $\pm$ 1.56*
II	143.46 $\pm$ 1.33	145.85 $\pm$ 2.15*	142.58 $\pm$ 2.27	145.67 $\pm$ 1.50*
III	145.69 $\pm$ 1.65	148.17 $\pm$ 2.92*	145.38 $\pm$ 1.33	147.92 $\pm$ 1.56*
IV	143.46 $\pm$ 2.03	145.67 $\pm$ 2.93*	142.15 $\pm$ 1.91*	145.5 $\pm$ 1.45*



**FIGURE 13.** Blood sodium values (mmol/l) in the supplemented groups (mean  $\pm$  SD). \* Indicates a significant ( $p < 0.05$ ) difference compared to the PB values (see table 6).

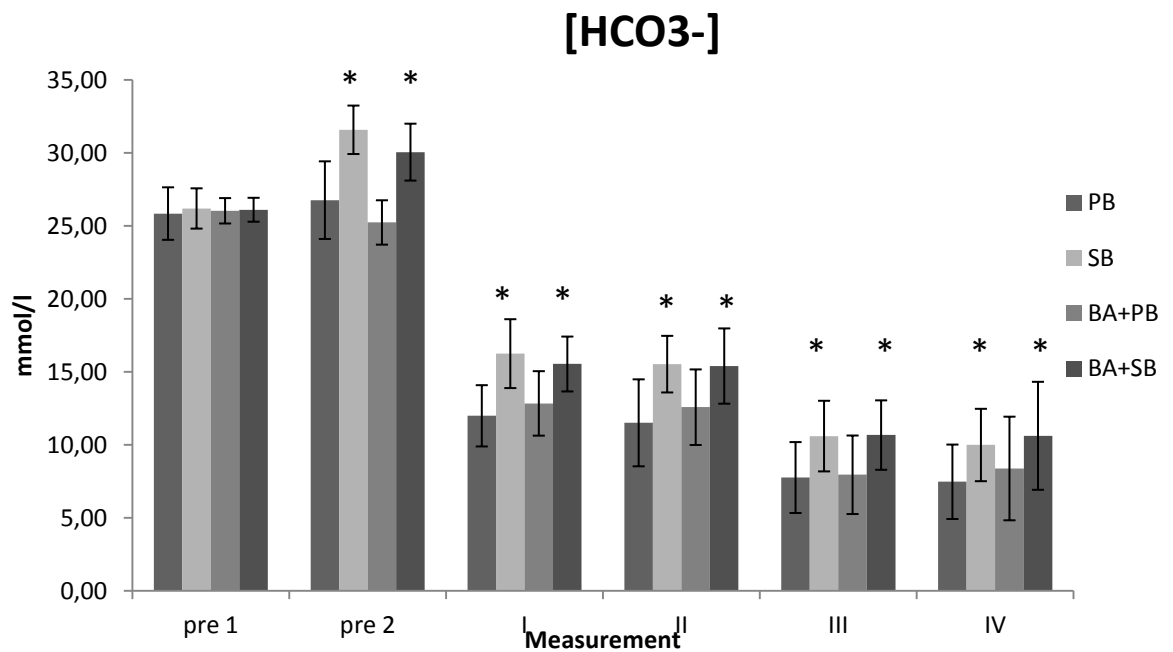


## 5.5 Bicarbonate and base excess

There were significances in bicarbonate and base excess (BE<sub>ecf</sub>) values in SB and in BA+SB in every measurement point (except pre 1) compared to the PB values (tables 7-8 and figures 14-15).

**TABLE 7.** Blood bicarbonate values (mmol/l) in the supplemented groups (mean  $\pm$  SD). \* Indicates a significant ( $p < 0.05$ ) difference compared to the PB values.

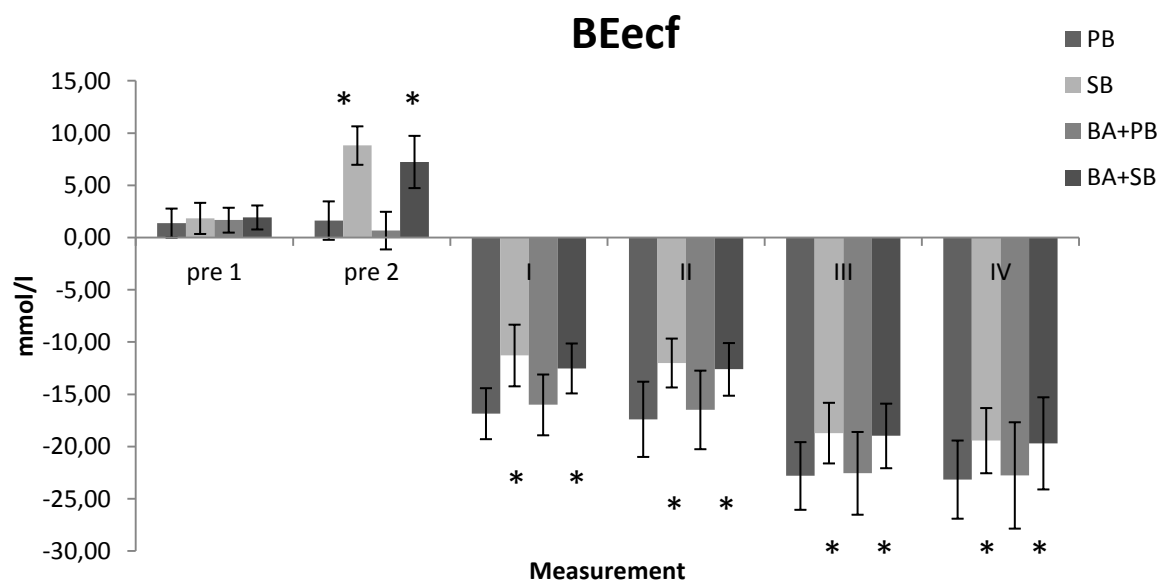
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PB	SB	BA+PB	BA+SB
pre 1	25.85 $\pm$ 1.80	26.20 $\pm$ 1.38	26.04 $\pm$ 0.87	26.11 $\pm$ 0.82
pre 2	26.77 $\pm$ 2.66	31.59 $\pm$ 1.66*	25.24 $\pm$ 1.52	30.06 $\pm$ 1.95*
I	11.99 $\pm$ 2.10	16.25 $\pm$ 2.36*	12.84 $\pm$ 2.21	15.54 $\pm$ 1.88*
II	11.51 $\pm$ 2.98	15.53 $\pm$ 1.94*	12.58 $\pm$ 2.59	15.4 $\pm$ 2.58*
III	7.76 $\pm$ 2.43	10.6 $\pm$ 2.42*	7.95 $\pm$ 2.69	10.67 $\pm$ 2.38*
IV	7.47 $\pm$ 2.55	9.99 $\pm$ 2.48*	8.38 $\pm$ 3.55	10.62 $\pm$ 3.70*



**FIGURE 14.** Blood bicarbonate values (mmol/l) in the supplemented groups (mean  $\pm$  SD). \* Indicates a significant ( $p < 0.05$ ) difference compared to the PB values.

**TABLE 8.** Blood base excess values (mmol/l) in the supplemented groups (mean  $\pm$  SD). \* Indicates a significant ( $p < 0.05$ ) difference compared to the PB values.

BEecf	PB	SB	BA+PB	BA+SB
pre 1	1.39 $\pm$ 1.39	1.84 $\pm$ 1.49	1.67 $\pm$ 1.19	1.93 $\pm$ 1.15
pre 2	1.63 $\pm$ 1.84	8.81 $\pm$ 1.84*	0.67 $\pm$ 1.80	7.24 $\pm$ 2.5*
I	-16.85 $\pm$ 2.44	-11.28 $\pm$ 2.95*	-16.01 $\pm$ 2.91	-12.52 $\pm$ 2.39*
II	-17.39 $\pm$ 3.60	-12 $\pm$ 2.34*	-16.49 $\pm$ 3.76	-12.61 $\pm$ 2.52*
III	-22.81 $\pm$ 3.24	-18.71 $\pm$ 2.90*	-22.56 $\pm$ 3.69	-18.98 $\pm$ 3.09*
IV	-23.16 $\pm$ 3.74	-19.43 $\pm$ 3.12*	-22.76 $\pm$ 5.09	-19.69 $\pm$ 4.41*



**FIGURE 15.** Blood base excess values (mmol/l) in the supplemented groups (mean  $\pm$  SD). \* Indicates a significant ( $p < 0.05$ ) difference compared to the PB values.

## 5.6 Responders and non-responders

The results implicated that concerning the beta-alanine supplementation six subjects had at least 0.5 s faster times in the second swim compared to the placebo trial. This suggests that these subjects might be high-responders to the beta-alanine supplementation. The former studies show that usually some subjects respond to beta-alanine supplement-

tation stronger than others (Baguet et.al 2009) and this supports our finding. The same kind of phenomenon was present also with sodium bicarbonate supplementation. Using the same criteria to separate the high-responders we were able to point out nine subjects that responded strongly to the sodium bicarbonate supplementation. Individual responses can be seen on figure 16.

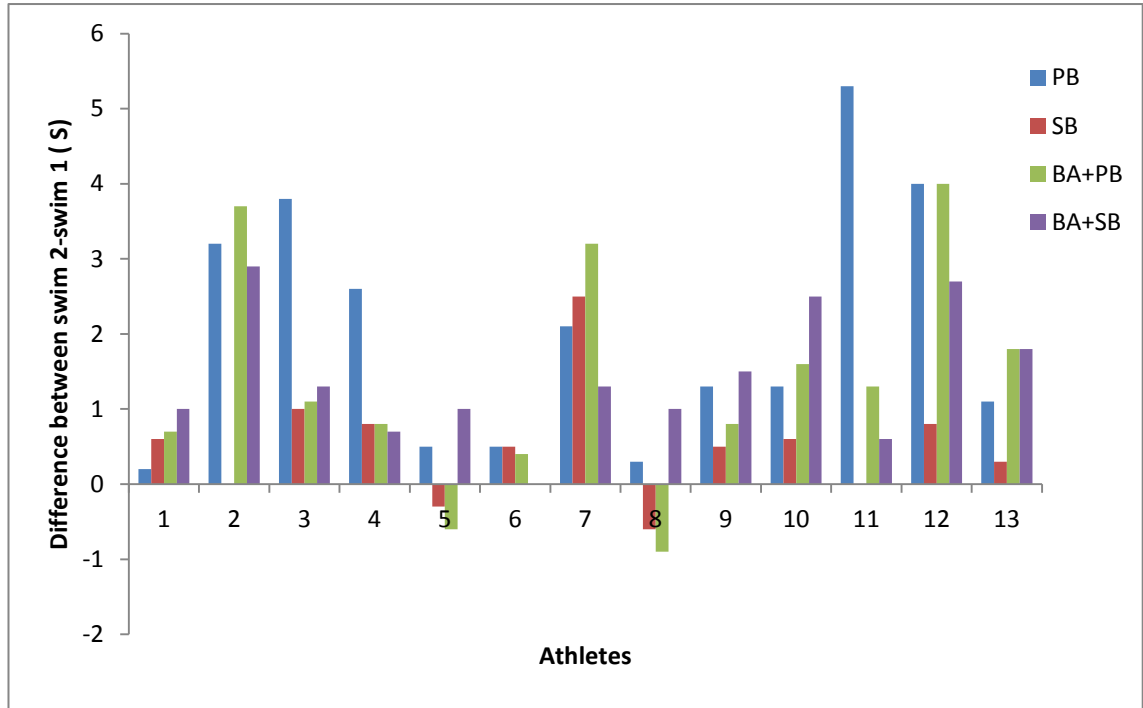


FIGURE 16. Individual responses to supplementations. In x- axis is displayed athletes and in y- axis difference between swim 2 and swim 1.

## 6 POHDINTA

**Päätulokset.** Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta, että käytetyllä 2 x 100 m vapaauintitestillä ainoastaan natriumbikarbonaatin nauttiminen aiheutti tilastollisesti merkitseviä tuloksia. Beeta-alaniinin käytöllä näytti olevan myös vaikutuksia suorituksiin ja veriarvoihin, mutta ne eivät saavuttaneet tilastollisia merkityksiä pois lukien muutamaa natrium- ja kaliumarvoa lukuun ottamatta. Aineiden yhdistämisellä ei saavutettu oletettua hyötyä, vaan päinvastoin, yhdistelmäannoksen nauttimisen jälkeen koehenkilöt suorituivat huonommin kuin aineiden erillisen nauttimisen jälkeen. Näiden tutkimustulosten valossa voidaan todeta, että yksittäiseen 100 m vapaauintiin ei voitane suoraan vaikuttaa merkittävästi nauttimalla natriumbikarbonaattia, beeta-alaniinia tai näiden yhdistelmää. Toiseen lyhyellä palautuksella suoritettuun 100 m vapaauintiin paras vaihtoehto näyttäisi olevan näistä vaihtoehdoista natriumbikarbonaatin nauttiminen, joskin myös beeta-alaniinilla voi olla vaikutuksia.

**Uintien ajat.** Ensimmäisten uintien välille ei muodostunut tilastollisesti merkitseviä eroja ja ajat olivat nautitusta aineesta riippumatta lähes identtisiä. Ainoastaan pelkän natriumbikarbonaatin nauttimisen jälkeen ensimmäinen uinti poikkesi hieman tulosten linjasta, joskin se ei ollut tilastollisesti merkittävä poikkeama. Toisten uintivetojen ajoissa oli selviä eroavaisuuksia ja peräkkäisten uintien erotusta vertailtaessa natriumbikarbonaatin nauttimisella oli tilastollisesti merkittävä vaikutus aikaan. Sama tulos saatiin myös Meron ym. (2004) tutkimuksessa, jossa erot uintien välillä näkyivät vasta toisessa uinnissa. Myös pelkkää beeta-alaniinia nautittuaan ja yhdistelmäannoksen jälkeen toinen uintisuoritus oli nopeampi, joskin ne eivät saavuttaneet tilastollista merkitsevyyttä. Erot näillä kahdella, verrattuna placebolla uituun suoritukseen, olivat noin 0,5 s, mikä on käytännön tasolla suuri ero, sillä 100 m uinnissa erot huipulla ovat hyvin pieniä.

**Natriumbikarbonaatti.** Natriumbikarbonaatin nauttiminen aiheutti siis selvimmät vaikutukset suoritukseen, sillä uintiaikojen erotus oli pienin, pH-arvot suurimpia,  $[\text{HCO}_3^-]$  arvot suurimpia ja emäsyylimäärät isoimpia. Veriarvojen muutokset vastasivat hyvin aiemmissa tutkimuksissa saavutettuja (Mero ym. 2004, Gao ym. 1988 ja Siegler & Gleadall-Siddall 2010). Uintien välinen erotus oli natriumbikarbonaatilla kaikkein pienin, vain 0,6 s (vrt. PB: 2,0 s). 1,4 s on todella suuri ero ja se oli tilastollisesti merkitse-

vä ( $p=0.007$ ). On kuitenkin huomattava, että natriumbikarbonaatin nauttimisen jälkeen uimarien ensimmäinen uinti oli hieman hitaampi kuin muilla aineilla (noin 0,45s), mikä voi vaikuttaa uintien välisen erotuksen pienuuteen. Tähän ei voida todeta yksittäistä selvää syytä. Muutama koehenkilö mainitsi natriumbikarbonaattia nautittuaan kokevan olonsa hieman normaalista poikkeavaksi, mutta tämä ei selitä koko ilmiötä.

Lisäksi, jos koehenkilöt jaetaan harjoittelutyylinsä perusteella karkeasti matkureihin ja sprinttereihin, nähdään ajoissa suuria eroja (kuvio 9). Käytetyt puskuriaineet vaikuttivat järjestään enemmän sprintterien suorituksiin, sprinttereillä kaikki aineet antoivat suuren parannuksen, kun taas matkureilla näin kävi ainoastaan natriumbikarbonaatin kanssa. Tilastollinen merkitsevyys löytyi vain sprinttereiden natriumbikarbonaattituloksista. Matkureilla merkitsevyys oli lähellä ( $p=0,074$ ). Matkureilla suoritus heikkeni yleisesti vähemmän, minkä syynä voi olla mm. harjoittelutyylin ja fyysiset ominaisuudet. Sprintterit heikensivät uintiaan ilman tutkittavia aineita noin kolme sekuntia, kun matkurit vastaavasti heikensivät noin yhden sekunnin. Syytä näin isoon eroon ei voi varmaksi sanoa, mutta mahdollisesti matkurikoehenkilöt olivat harjoitelleet enemmän myös maksimaalista kestävyyttä kuin sprintterit. Siten he eivät heikentäneet suoritustaan niin paljon toisissa uinneissa. Lisäksi on mahdollista, että sprintterit saivat itsestään enemmän irti lyhyen alkuverryttelyn jälkeen, sillä monet matkurit kaipaavat pidempää alkuverryttelyä ennen kovia suorituksia. Tutkimuksen tasapuolisuuden kannalta oli kuitenkin välttämätöntä, että kaikki koehenkilöt tekivät samanlaisen alkuverryttelyn, joten sen pituudessa oli tyydyttävä kompromissiratkaisuun.

**pH.** Koehenkilöiden veren pH-arvot olivat odotettuja, natriumbikarbonaatin nauttimisen jälkeen pH nousi merkitsevästi: 7,42:sta 7,48:aan (BA+SB) ja 7,49:ään (SB) ennen ensimmäistä uintisuoritusta. pH-arvot pysyivät näissä kahdessa suplementaatioissa merkitsevinä kaikilla mittauskerroilla uintien yhteydessä verrattuna plaseboon. pH-arvojen osalta tulokset vastasivat hyvin aiempien tutkimusten löydöksiä, vastaavia pH-arvojen muutoksia ovat raportoineet mm. Lindh ym. (2008), Mero ym. (2004) ja Siegler & Gleadall-Siddall (2010).

**Laktaatti.** Laktaatin osalta tulokset olivat hieman yllättäviä, tilastomerkitsevyyksiä ei löytynyt mistään mittauksesta. Tämä voi selittyä osittain suurella hajonnalla koehenkilöiden välillä, esim. kahden koehenkilön välillä ero maksimilaktaatissa saattoi olla jopa

8 mmol/l. Aiemmissä tutkimuksissa natriumbikarbonaatin nauttiminen on nostanut merkitsevästi laktaattitasoja (Mero ym. 2004; Lindh ym. 2008), mutta tässä tutkimuksessa koko koehenkilöjoukkoa tarkastellessa näin ei käynyt, vaikka natriumbikarbonaatin ollessa käytössä, laktaatin keskiarvot (noin 18 mmol/l) olivat yli 1 mmol/l korkeammat kuin muissa ryhmissä. Yksilötasolla oli suuria eroja. Natriumbikarbonaattia nauttineilla ensimmäisen uinnin jälkeen neljällä koehenkilöllä ja toisen uinnin jälkeen kuudella koehenkilöllä laktaattihuippu nousi yli 2 mmol/l placebotasoon verrattuna. Beeta-alaniinin nauttimisen jälkeen laktaattitasot nousivat vastaavasti ensimmäisen uinnin jälkeen kolmella koehenkilöllä ja toisen uinnin jälkeen viidellä koehenkilöllä. Yhdistelmäannoksen jälkeen vastaavia huippulaktaattien nousuja havaittiin ensimmäisen uinnin jälkeen kolmella koehenkilöllä ja toisen uinnin jälkeen neljällä koehenkilöllä. Kirjallisuudessa on todettu, että hyötyäkseen puskuroidusta alkaloottisesta tilasta, veren laktaattitaso tulee nousta yli 2 mmol/l (Ibanez ym. 1995). Tämä tukee löydettyjä tilastollisia merkitsevyyksiä, sillä vain murto-osalla koehenkilöistä havaittiin tämän kirjallisuudessa osoitetun rajan ylittäviä laktaattiarvoja. Eniten yli 2 mmol/l huippulaktaattien nousuja havaittiin juuri natriumbikarbonaatin nauttimisen jälkeen, mikä tukee myös muita tutkimuksen tuloksia, joissa natriumbikarbonaatti näyttää vaikuttavan tehokkaimmalta aineelta.

**[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>].** Veren bikarbonaatti-ionipitoisuuden muutokset vastasivat hyvin odotuksia. Natriumbikarbonaatin nauttiminen ennen suoritusta nosti merkitsevästi HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> pitoisuutta kaikilla mittauskerroilla pelkän natriumbikarbonaattilisän kanssa, sekä yhdistettynä beeta-alaniiniin. Pelkkä beeta-alaniinin nauttiminen nosti myös hieman [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]-pitoisuutta, joskin tällöin ei saavutettu tilastollista merkitsevyyttä. Bikarbonaatin nauttimisen yhteydessä onkin luonnollista, että veren bikarbonaatti-ionipitoisuus kasvaa ja kyseinen vaikutus on ollut jo pitkään yleisesti tiedostettu (Lindh ym. 2008, Siegler & Gleadall-Siddall 2010, Bishop ym. 2004, Siegler ym. 2010).

**Emäsyylimäärä.** Emäsyylimäärän käyttäytyminen vastasi hyvin pitkälti [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]:n muutoksia. Bikarbonaatin nauttimisen yhteydessä emäsyylimäärä ennen suoritusta kasvoi merkitsevästi (p=0,002) ja emäsyylimäärä muuttui vähemmän negatiiviseksi suoritusten jälkeen. Tämä tukee myös aiempia tutkimuksia (Siegler ym. 2010, Douroudos ym. 2006). Jälleen pelkän beeta-alaniinin nauttiminen aiheutti pienen muutoksen emäsyli-

määrään, muttei saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä. Beeta-alaniinin vaikutuksista emäsyylimäärään ei ole aiempaa tutkimustietoa.

*[Na<sup>+</sup>] ja [K<sup>+</sup>]*. Natrium- ja kaliumionien pitoisuuksissa tapahtui merkittäviä muutoksia. Bikarbonaatin nauttimisen jälkeen veren [Na<sup>+</sup>] nousi tilastollisesti merkitsevästi jokaisessa mittauksessa. Vastaavasti tuolloin veren [K<sup>+</sup>] laski merkitsevästi useassa mittauspisteessä. Vastaavan tuloksen on saavuttanut Sostaric ym. (2005), jotka tutkivat alkaloosia käsivarren kuormitukseen perustuvalla asetelmalla. Heidän tuloksissaan oli huomattavissa molempien ionien vastaavanlainen käyttäytyminen: [Na<sup>+</sup>] kasvoi merkitsevästi alkaloosin seurauksena ja [K<sup>+</sup>] vastaavasti pieneni merkitsevästi kontrolliryhmään verrattuna. Nämä tulokset viittaavat lihasten Na<sup>+</sup>- ja K<sup>+</sup>-ATPaasiaktiivisuuden kasvuun (Sostaric ym. 2006). Pelkän beeta-alaniinin nauttiminen aiheutti mielenkiintoisia tuloksia. [Na<sup>+</sup>] oli merkitsevästi placeboa alhaisempi toisen uinnin jälkeisessä (post 6 min) mittauksessa ja lähellä merkitsevyyttä useammassa mittauspisteessä. Vastaavasti [K<sup>+</sup>] oli hyvin lähellä placebomittausten tasoa: kolmella mittauskerralla alle sen (pre 1, pre 2 ja I-uinnin jälkeinen post 6 min) ja kolmella muulla kerralla (I-uinnin jälkeinen post 2 min, toisen uinnin jälkeiset post 2 min ja post 6min) yli placebon verrokkitason. Voidaan todeta, että beeta-alaniinin nauttiminen näyttäisi vaikuttavan Na<sup>+</sup>- ja K<sup>+</sup>-ATPaasiaktiivisuuteen, mutta lähes päinvastoin natriumbikarbonaatilla aiheutettuun alkaloosiin verrattuna. Aiempaa tutkimustietoa beeta-alaniinin vaikutuksista [Na<sup>+</sup>] ja [K<sup>+</sup>]-pitoisuuksiin ei kirjallisuudesta löydy.

**Beeta-alaniini.** Beeta-alaniinin osalta on hyvin vähän tutkimustietoa kilpaurheilijoille tehdyistä tutkimuksista, uinnin osalta ainetta ei ole aiemmin tutkittu lainkaan. Kun katsotaan beeta-alaniinilla saatujen tulosten yleislinjaa, huomataan, että aineen nauttimisella on vaikutusta uimarin suorituskykyyn. Placeboa nautittuaan uimarien uintien välinen erotus oli 2,0 s, kun beeta-alaniinin nauttimisen jälkeen vastaava erotus oli 1,3 s. Tällä ei kuitenkaan ollut tilastollista merkitsevyyttä ( $p=0.223$ ), mutta 0,7 s on 100 m uinnissa pitkä aika ja kansainvälisellä huipulla tuohon aikaväliin voi mahtua hyvinkin 10 urheilijaa. Beeta-alaniinin jatkuva käyttö on mahdollista, joten sen käyttö läpi harjoittelukauden onkin perusteltua. Hoffman ym. (2008) raportoivatkin tutkimuksessaan, että harjoittelun intensiteetti ja volyyymi olivat kasvaneet beeta-alaniiniryhmällä verrattuna placeboon. Täten pidemmällä aikavälillä voisi ajatella, että mikäli beeta-alaniinin avulla harjoittelu voi olla kovempaa, tulee tulostakin pidemmällä aikavälillä enemmän. Tässä tut-

kimuksessa käytetyssä 2x100m uinti suorituksessa ei saatu merkitsevää näyttöä beeta-alaniinin hyödystä. Tätä näyttöä tukee myös tuore meta-analyysi (Hobson ym. 2012) joka paljastaa että beeta-alaniinin vaikutus ei näyttäisi parantavan alle 60 sekunnin suorituksia. Joten tutkimuksessa käytetty uintisuoritus saattoi olla liian lyhyt saadakseen näkyviin merkitseviä eroja beeta-alaniinin suhteen.

**Jatkotutkimukset.** Lisätutkimusta aiheesta kaivataan, ja olisikin mielenkiintoista nykyisen tiedon valossa tutkia esimerkiksi 200 m tai 400 m uintisuorituksia samoilla lisäravinteilla. Tutkimisen arvoista voisi myös olla kreatiinin lisääminen natriumbikarbonaatin ja beeta-alaniinin seuraksi ja tutkia näiden kolmen yhteisvaikutuksia. Monet urheilijat käyttävät useita lisäravinteita kerrallaan tietämättä niiden yhteisvaikutuksista. Kuten tässäkin tutkimuksessa havaittiin, 100 m vapaauinnin kannalta natriumbikarbonaatin ja beeta-alaniinin yhdistäminen ei välttämättä olekaan suorituksen kannalta järkevin päätös. Täten aineiden yhdistelmien tutkiminen on tärkeää urheilijoiden kannalta, jotta toisensa vaikutuksia poissulkevat tai tehostavat yhdistelmät voidaan tunnistaa ja täten maksimoida lisäravinteista saadut hyödyt. Tärkeää on myös jaossa tutkia ko. lisäravinteiden käytön hyötyjä harjoituskaudella.

**Yhteenveto.** Kovassa alle 60 s uintisuorituksessa suurin hyöty saavutettiin nauttimalla pelkästään natriumbikarbonaattia, mikä vahvistaa aikaisempia tuloksia natriumbikarbonaatin tehosta. Beeta-alaniinilla ei saavutettu tässä tutkimuksessa merkitsevää etua. Tuore meta-analyysi (Hobson ym. 2012) tukee beeta-alaniinin tulosta, eli beeta-alaniinilla ei ole selvää merkitystä alle 60 s suorituksissa. Voidaan myös todeta, että pelkän beeta-alaniinin ja aineiden kombinaation nauttiminen johti plaseboa nopeampaan uintisuoritukseen, joskin näillä ei ollut tilastollista merkitsevyyttä. Yksilölliset vasteet niin natriumbikarbonaattiin kuin beeta-alaniiniin olivat hyvin erilaiset vaikutusten osalta. Tutkimuksen yllättävin tulos oli, että aineiden yhdistäminen johti huonompaan suoritukseen kuin aineet erikseen nautittuina.



## LÄHTEET

Baguet, A., Bourgois J., Vanhee L., Achten E., Derave W. 2010. Important role of muscle carnosine in rowing performance. *J Appl Physiol* 109, 1096–1101,

Baguet, A., Reyngoudt, H., Pottier, A., Everaert, I., Callens, S., Achten, E., Derave, W. 2009. Carnosine loading and washout in human skeletal muscles. *J Appl Physiol*. 106, 837-42

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

Bishop, D., Edge, J., Davis, C. & Goodman, C. 2004. Induced Metabolic Alkalosis Affects Muscle Metabolism and Repeated-Sprint Ability. *Med. Sci. Sports Exerc*. 36, 5, 807–813.

Bishop, D.J., Thomas, C., Moore-Morris, T., Tonkonogi, M., Sahlin, K. & Mercier, J. 2010. Sodium bicarbonate ingestion prior to training improves mitochondrial adaptations in rats. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 299, 225–233.

Derave 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*. 103, 1736–1743.

Douroudos I.I., Fatouros, I.G., Gourgoulis, V., Jamurtas, A.Z., Tsitsios, T., Hatzinikolaou, A., Margonis, K., Mavromatidis, K. & Taxildaris, K. 2006. Dose-Related Effects of Prolonged NaHCO<sub>3</sub> Ingestion during High-Intensity Exercise. *Med. Sci. Sports Exerc* 38, 10, 1746–1753.

Edge, J., Bishop, D. & Goodman, C. 2006. Effects of chronic NaHCO<sub>3</sub> ingestion during interval training on changes to muscle buffer capacity, metabolism, and short-term endurance performance. *J Appl Physiol* 101, 918–925.

Gao, J., Costill, D.L., Horswill, C.A. ja Park, S.H. 1988. Sodium bicarbonate ingestion improves performance in interval swimming, *Eur J Appl Physiol* 58, 171-174.

Guyton, A.C. & Hall, J.E. 2006. *Textbook of Medical Physiology*. Elsevier Saunders, Philadelphia, 384-395.

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*, 30, 279-289.

Hill C. A., Harris R. C., Kim H. J., Harris B. D., Sale C., Boobis L. H., Kim C. K., Wise J. A. 2006. Influence of  $\beta$ -alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids*, 32, 225-233.

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 2012.

Hoffman, JR., Ratamess, NA., Avery D., Faigenbaum, Ross, R., Kang, J. 2008. Short-duration  $\beta$ -alanine supplementation increases training volume and reduces subjective feelings of fatigue in college football players. *Nutrition Research* 28, 31–35.

Hollidge-Horvat, M.G., Parolin, M.L., Wong, D., Jones, N.L. & Heigenhauser, G.J.F. 2000. Effect of induced metabolic alkalosis on human skeletal muscle metabolism during exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 278, 316–329.

Ibanez, J., Pullinen, T., Gorostiaga, E., Postigo, A. & Mero, A. 1995. Blood lactate and ammonia in short-term anaerobic work following induced alkalosis. *J Sports Med Phys Fitness.* 35, 3, 187-193.

Jordan, T., Lukaszuk, J., Misic, M., Umoren, J. 2010. Effect of beta-alanine supplementation on the onset of blood lactate accumulation (OBLA) during treadmill running: Pre/post 2 treatment experimental design. *J. Int. Society of Sports Nutr.*, 7, 20.

Kraemer, W.J., Harman, F.S., Vos, N.H., Gordon, S.E., Nindl, B.C., Marc, J.O., Gómez, A.L., Volek, J.S., Ratamess, N.A., Mazzetti, S.A., Bush, J.A., Dohi, K., Newton, R.U. & Häkkinen, K. 2000. Effects of exercise and alkalosis on serum insulin-like growth factor 1 and IGF-binding protein-3. *Can. J. Appl. Physiol.* 25, 2, 127-138.

Lindh, A.M., Peyrebrune, M.C., Ingham, S.A., Bailey, D.M. & Folland, J.P. 2008. Sodium Bicarbonate Improves Swimming Performance, *Int J Sports Med* 29, 519–523.

Mero, A.A., Keskinen, K.L., Malvela, M.T. ja Sallinen J.M. 2004. Combined Creatine and Sodium Bicarbonate Supplementation Enhances Interval Swimming. *J Strength Cond Res* 18, 2, 306-310.

Péronnet F. & Aguilaniu B. 2006. Lactid acid buffering, nonmetabolic CO<sub>2</sub> and exercise hyperventilation: A critical reappraisal, *Resp. Physiology & Neurobiology* 150, 4-18.

Pruscino, C.L., Ross, M.L.R., Gregory, J.R., Savage, B. & Flanagan, T.R. 2008. Effects of Sodium Bicarbonate, Caffeine, and Their Combination on Repeated 200-m Freestyle Performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 18, 116-130.

Raymer, G.H., Marsh, G.D. Kowalchuk, J.M. & Thompson, R.T. 2004. Metabolic effects of induced alkalosis during progressive forearm exercise to fatigue. *J Appl Physiol* 96, 2050–2056.

Sale C, Saunders B, Hudson S, Wise JA, Harris RC, Sunderland CD. 2011. Effect of  $\beta$ -alanine plus sodium bicarbonate on high-intensity cycling capacity. *Med Sci Sports Exerc.* 43, 10, 1972-8.

Siegler, J.C., Midgley, A.W., Polman, R.C.J., and Lever, R. 2010. Effects of various sodium bicarbonate loading protocols on the time-dependent extracellular buffering profile. *J Strength Cond Res* 24, 9, 2551–2557.

Siegler, J.C. & Gleadall-Siddall, D.O. 2010. Sodium bicarbonate ingestion and repeated swim sprint performance. *J Strength Cond Res* 24(X): 000–000.

Smith AE., Walter AA., Graef JL., Kendall, KL., Moon JR., Lockwood C., Fukuda D., Beck, TW., Cramer, JT., Stout, JR. 2009. Effects of beta-alanine supplementation and high-intensity interval training on endurance performance and body composition in men: a double-blind trial. *J Int Soc Sports Nutr.*

Sostaric, S.M., Skinner, S.L., Brown, M.J., Sangkabuttra, T., Medved, I., Medley, T., Selig, S.E., Fairweather, I., Rutar, D. & McKenna, M.J. 2006. Alkalosis increases muscle K<sup>+</sup> release, but lowers plasma [K<sup>+</sup>] and delays fatigue during dynamic forearm exercise. *J Physiol* 570, 1, 185–205.

Schück, O. & Matoušovic, K. 2005. Relation between pH and the strong ion difference (SID) in body fluids. *Biomedical Papers*, 149 (1), 69-73.

Stellingwerff, T., Boit, M.K., & Res, P.T. 2007. Nutritional strategies to optimize training and racing in middle-distance athletes, *J. Sports Sci.* 25, 1, 17–28.

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. 2002. 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

Sweeney, K., Wright, G., Glenn, B., Doberstein, S. 2010. The effect of beta-alanine supplementation on power performance during repeated sprint activity. *J Strength Cond Res.* 24, 79–87,

Tallon, M., Harris R., Boobis L., Fallowfield J., Wise J. 2005 The carnosine content of vastus lateralis is elevated in resistance trained bodybuilders. *J Strength Cond Res.*19, 725–729.

Triplett-McBride, T., Bowman, S.A., Pein, R L. Foster, C.C. 2003. Effects of different dosages of sodium bicarbonate on swimming performance, *Medicine & Science in Sports & Exercise* 35, 5, 270.

Zoeller R. F., Stout J. R., O’Kroy J. A., Torok D. J., Mielke M. 2006. 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.

## LIITE 1. Harjoitusohjelma

Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su
07.45–09.45	07.15–09.15		06.15–08.15	06.15–08.15	08–10 + Sali	
Potkut/ pitkä II	Tehot	-	Tehot	Delf + lajitreeni	Tehot	Lepo
15.30–17.30	15–16.30 + Sali	15-16.30 tai oma	15–16 + kp	15–17	16–18	
VV + V	Palauttavaa/ tekn.	Viestit + I + IV-vedot	Palauttavaa/ tekn.	V	I/II	-

Vko	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Characteristics</b>	Endurance	Endurance	Tests	A lot of km	Mixed	Easy + V	Endurance	Endurance	Anaerobics	Mixed	A lot of km (ma-ma)
<b>Competitions</b>	JS-cup					Oskarit	SWE GP	JS-cup			
<b>Notice</b>				Winter holiday							Easter
Vko	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
<b>Characteristics</b>	Anaerobics	Eaysy + V	Endurance	Endurance	Mixed	Mixed	Eaysy + V	Viimeistely			
<b>Competitions</b>	JS-cup	TRE		(Viro-Suomi)			Märsky			NSM/SM	(NEM:t)
<b>Notice</b>	ti lepo					School ends			Mid sommer		

## LIITE 2. Lämmittelysarja

\* 200 m kevyttä uintia, alkuverryttely

\* 4x50 m tekniikan hakua, erilaisia drillejä, uimari saa itse päättää, mikä toimii hänelle parhaiten

\* 4x50 m kiihdytyksiä nousevalla intensiteetillä,

1. I→II

2. I→II/III

3. I→III

4. I→IV

I, II/III, III ja IV tarkoittavat uimarien vauhtialueita. I-alue on kevyt aerobinen verryttelyvauhti. II/III-alueella tarkoitetaan anaerobisella kynnyksellä tapahtuvaa uintivauhtia. III-alue on vauhtikestävyuden aluetta, jossa suoritus ylittää selvästi anaerobisen kynnyksen. IV-alue tarkoittaa kilpailuvauhtista suoritusta.

- 200 m valmistavaa uintia, saa itse säädellä vauhdin ja tekemisen tason  
=800 m