

**HAPPAMUUTTA JA EMÄKSISYYTTÄ TUOTTAVAN
RAVINNON VAIKUTUS KESTÄVYYS- JA
VOIMAOMINAISUUKSIIN 12 VIIKON YHDISTETYN
KESTÄVYYS- JA VOIMAHARJOITTELUN AIKANA**

Jaakko Hentilä

Liikuntafysiologia

LFYA005

Kandidaatin tutkielma

Kevät 2013

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaajat: Antti Mero, Enni-Maria
Hietavala

TIIVISTELMÄ

Hentilä, Jaakko. 2013. Happamuutta ja emäksisyyttä tuottavan ravinnon vaikutus kestävyys- ja voimaominaisuuksiin 12 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun aikana. Liikuntafysiologian kandidaatin tutkielma. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto. 55s.

Johdanto. Ravinnolla ja urheilussa sallituilla lisäravinteilla pystytään vaikuttamaan elimistön happo-emästasapainoon levossa ja parantamaan suorituskykyä lyhyissä kovatehoisissa suorituksissa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää miten emäksisyyttä tuottava, runsaasti kasviksia ja hedelmiä sisältävä normaaliproteiininen ruokavalio vaikuttaa voima- ja kestävyysominaisuuksiin sekä elimistön happo-emästasapainoon 12 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelujakson aikana verrattuna happamuutta tuottavaan, vähän kasviksia ja hedelmiä sisältävään normaaliproteiiniseen ruokavalioon.

Menetelmät. Tutkimukseen osallistui yhteensä 49 kuntoliikuntaa harrastavaa naista ja miestä, jotka jaettiin kahteen ruokavalioryhmään (EMÄS / HAPAN). EMÄS -ryhmän ruokavalio oli arvioitu PRAL (potential renal acid load = potentiaalinen munuaisten happokuorma) -menetelmän avulla elimistön emäksisyyttä lisääväksi, kun taas HAPAN -ryhmä noudatti lähes normaalia ruokavaliota, jossa kuitenkin muun muassa kasvien ja hedelmien saantia oli rajoitettu. Kolmen kuukauden tutkimusjakson ajan koehenkilöt suorittivat myös yhdistettyä kestävyys- ja voimaharjoittelua kaikille yhtenäisen ohjelman mukaisesti kaksi kertaa viikossa yhteensä 90–120 minuuttia yhdellä harjoituskerralla. Kestävyysosio suoritettiin aina ensin ja 10 minuutin palautuksen jälkeen toteutettiin voimaosio. Ennen ja jälkeen harjoitusjaksoa mitattiin VO_{2max} , veren maksimaalinen laktaattipitoisuus, maksimaalinen pyöräilyteho, jalkojen ja käsien ojentajien maksimivoima, veren ja virtsan pH sekä veren bikarbonaattipitoisuus. Koehenkilöt pitivät ruokapäiväkirjaa tutkimusjaksoa ennen, puolivälissä ja lopussa kolmen päivän ajan.

Tulokset. Ravinto. EMÄS- ja HAPAN -ryhmän miesten kasvien ja hedelmien saannissa oli tilastollisesti merkitsevä ero tutkimusjakson puolivälissä (898 ± 302 g vs. 247 ± 243 g, $p < 0.001$) ja sen lopussa (803 ± 380 g vs. 226 ± 96 g, $p < 0.01$). Naisilla samansuuntainen ryhmien välinen pieni ero havaittiin jo ennen tutkimusjaksoa (396 ± 203 g vs. 249 ± 75 g, $p < 0.05$), mutta suuri ero tutkimusjakson puolivälissä (927 ± 307 g vs. 209 ± 159 g, $p < 0.001$) ja sen lopussa (1066 ± 634 g vs. 264 ± 273 g, $p < 0.001$). Miesten EMÄS -ryhmällä kehonpainoon suhteutettu rasvojen ($0,8 \pm 0,3$ g/kg vs. $1,2 \pm 0,4$ g/kg, $p < 0.05$) ja proteiinin ($1,0 \pm 0,3$ g/kg vs. $1,4 \pm 0,5$ g/kg, $p < 0.05$) saanti oli tutkimusjakson puolivälissä pienempää kuin HAPAN -ryhmän miehillä.

pH. Veren pH:ssa ei havaittu muutoksia tutkimusjakson aikana, mutta virtsan pH oli EMÄS -ryhmän naisilla merkitsevästi korkeampi tutkimusjakson lopussa HAPAN-ryhmään verrattuna ($6,35 \pm 0,98$ vs. $5,56 \pm 0,72$, $p < 0.05$).

Kestävyysuorituskyky. Maksimaalisessa pyöräilytehossa tilastollisesti merkitsevät parannukset olivat miesten (251 W \pm 50,1 vs 278 W \pm 47,5, $p < 0.05$) ja naisten (164 W \pm 22,2 vs. 182 W \pm 21,6, $p < 0.01$) HAPAN -ryhmällä. Maksimaalisessa hapenottokyvyssä tilastollisesti merkittävä parannus oli vain naisten HAPAN -ryhmässä ($30,8$ ml/kg/min \pm 4,0 vs. $33,3$ ml/kg/min \pm 5,2, $p < 0.05$). Veren maksimaalisessa laktaattipitoisuudessa ei ollut tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Lisäksi veren bikarbonaattipitoisuuksissa ei ollut merkitseviä muutoksia.

Voimaominaisuudet. Isometrisessä maksimivoimassa jalkaprässissä ainut tilastollisesti merkitsevä kehitys oli miesten HAPAN -ryhmässä (2807 N ± 741 vs. 3106 N ± 744, p<0.01). Isometrisessä maksimivoimassa istuen tehdyssä pystypunnerruksessa ainut tilastollisesti merkittävä parannus oli naisten EMÄS -ryhmässä (398 N ± 62 vs. 427 N ± 46, p<0.05). Dynaamisessa jalkaprässissä yhden toiston maksimissa parannukset olivat miesten (161 kg ± 27,2 vs. 175 kg ± 25,8, p<0.01) ja naisten (102 kg ± 19,4 vs 110 kg ± 20,1, p<0.01) HAPAN -ryhmässä sekä naisten EMÄS -ryhmässä (99 kg ± 14,2 vs. 105 kg ± 10,1, p<0.05).

Pohdinta ja johtopäätökset. Tämän tutkimuksen perusteella kasvis- ja hedelmäpainotteinen (noin 800 - 1000 g kasviksia ja hedelmiä vuorokaudessa) ja normaalin määrän proteiinia sisältävä EMÄS -ruokavalio ei vaikuta veren pH:hon, mutta naisilla virtsan pH nousi 12 viikon harjoittelun aikana ja oli korkeampi kuin HAPAN -ryhmällä. Nämä tulokset vahvistavat näkemystä siitä, että ruokavaliolla voidaan vaikuttaa elimistön happoemästäsapainoon, mikä näkyy erityisesti virtsan pH:n muutoksessa, mutta ei hyvin tarkasti säädellyssä veren pH:ssa. Tutkimuksen päätulos oli, että EMÄS -ryhmän emäksisyyttä tuottava ruokavalio ei parantanut voima- ja kestävyysominaisuuksia verrattuna kontrolliryhmän suhteellisen ”normaaliin”, suomalaisten käyttämään happamuutta tuottavaan ruokavalioon.

Avainsanat: Hapto-emästäsapaino, voima- ja kestävyysharjoittelu, suorituskyky.

Tätä tutkimusta ovat tukeneet:

TEKES

Honkatarhat Oy, Honkajoki

Kyröntarhat Oy, Honkajoki

Mykora Oy, Honkajoki

Lihajaloste Korpela Oy, Huittinen

Laihian Mallas Oy, Laihia

KKK-Vihannes Oy / Lykobene, Honkajoki

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO	4
2	KIRJALLISUUSKATSAUS	7
	2.1 Elimistön happo-emästasytaso	7
	2.1.1 Kemialliset puskurointijärjestelmät	8
	2.1.2 Fysiologiset puskurointijärjestelmät	9
	2.2 Liikunta, happo- emästasytaso ja laktaatti	12
	2.3 Harjoittelun vaikutus laktaattiin ja happo-emästasytsoon kuormituksessa	13
	2.4 Ravinnon vaikutus happo-emästasytsoon	14
	2.4.1 Emäksisyttä ja happamuutta aiheuttava ruokavalio	15
	2.4.2 Ruokavalion vaikutus happo-emästasytsoon ja suorituskykyyn	15
	2.4.3 PRAL	18
3	TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT	19
4	MENETELMÄT	23
	4.1 Koehenkilöt	23
	4.2 Koeasetelma	23
	4.2.1 Ravinto	25
	4.2.2 Harjoittelu	27
	4.3 Aineiston keräys ja analysointi	28
	4.4 Tilastolliset menetelmät	31
5	TULOKSET	32
	5.1 Kestävyysominaisuudet	32
	5.2 Voimaominaisuudet	35

5.3 Happo-emästasyapaino	39
6 POHDINTA	43
7 LÄHTEET	49

1 JOHDANTO

Happo-emästasyyppäapainon säätely kehossamme on erittäin tärkeää, koska happamuutta aiheuttavan vetyionikonsentraation lisääntyminen perustilasta vaikuttaa negatiivisesti mm. lähes kaikkiin kehomme entsyymattisiin reaktioihin. Tätä kautta vetyionikonsentraation muutokset vaikuttavat sekä solujemme että kehomme koko toimintaan. Happamuus määritetään liuoksen vapaiden vetyionien perusteella. (Guyton & Hall 2006, 383.) Ihmisen valtimoveren pH on normaalissa tilassa noin 7,4. Mikäli pH tippuu alle 7,4:n puhutaan asidoosista. Jos se kohoaa yli 7,4:n, niin puhutaan alkaloosista. Riippuen solutyypistä solun sisäinen pH voi olla 6,0:sta 7,4:ään. Virtsan pH voi vaihdella paljon ihmisellä alueella 4,5 – 8,0. (Guyton & Hall 2006, 384.)

Ihmisen happo-emästasyyppäapainon säätelyyn osallistuvat kemialliset ja fysiologiset puskurointijärjestelmät. Kemialliset puskurointijärjestelmät eivät poista elimistöstä vapaita vetyioneja tai lisää niiden määrää, vaan säätelevät liuoksen vetyionikonsentraatiota vapauttamalla vetyioneja tai sitomalla niitä. Kemialliset puskurointijärjestelmät reagoivat pH:n muutoksiin sekunnin murto-osassa. (Guyton & Hall 2006, 384.) Solun sisäisistä kemiallisista puskurijärjestelmistä tärkein on fosfaattipuskurointijärjestelmä. Lisäksi tietyt proteiinit vastaavat happo-emästasyyppäapainon säätelystä solun sisällä. Veren ja solun ulkoisen tilan tärkein kemiallinen puskurointijärjestelmä on bikarbonaattipuskurointijärjestelmä. (McArdle ym. 2010, 301.)

Fysiologisista puskurointijärjestelmistä hengitys reagoi happo-emästasyyppäapainon muutoksiin kemiallisten puskurointijärjestelmien jälkeen (Guyton & Hall 2006, 388–389). Toinen fysiologinen puskurointijärjestelmä on munuaiset, jotka reagoivat viimeisenä happo-emästasyyppäapainon säätelyyn. Munuaiset ovat hitain, mutta tehokkain happo-emästasyyppäapainon säätelijä. Munuaiset säätelevät kehomme happoemästasyyppäapainoa erittämällä joko hapanta tai emäksistä virtsaa. (Guyton & Hall 2006, 390.)

Kovatehoisen liikunnan aikana lihassoluissa kaikkea ATP:tä ei pystytä muodostamaan mitokondrioissa hapen avulla eli aerobisesti. Tällöin ATP:tä muodostetaan anaerobisen

glykolyysin avulla, jonka sivutuotteena syntyy maitohappoa, joka hajoaa laktaatiksi ja vetyioneiksi. Tällöin solun ja lopulta veren happamuus lisääntyy, koska vetyioneja kulkeutuu myös verenkiertoon. (McArdle ym. 2010, 163.) Happamuuden lisääntymisen tiedetään olevan yhteydessä suorituskyvyn laskemiseen (Westerblad ym. 2002). Kovassa kuormituksessa solun sisäiset ja ulkoiset kemialliset puskurointimekanismit vastaavat ensimmäisenä happamuutta vastaan puskuroimisesta. Sen jälkeen happamuutta puskuroidaan hengityksen avulla (voimistunut ventilaatio). (McArdle ym. 2010, 301–302.)

Lisäravinteilla kuten natriumbikarbonaatilla sekä ruokavaliolla on pystytty lisäämään hetkellisesti veren puskurointikapasiteettia. Tämä on johtanut parempaan tehoon lyhyissä maksimaalisissa suorituksissa, joissa anaerobinen glykolyysi on ollut merkittävä osa ATP:n muodostusta. Veren parantunut puskurointikyky on mahdollistanut näissä tutkimuksissa tehostuneen anaerobisen glykolyysin toiminnan. (Greenhaff ym. 1988a, b; 1987a; McNaughton ym. 1999; Bishop ym. 2004; McNaughton & Cedaro 1991.)

Ruokavalio vaikuttaa elimistön happo-emästasapainoon. Ruoka-aineet, jotka sisältävät paljon rikkiä ja fosforia lisäävät elimistön happamoitumista. Kysteini ja metioniini ovat aminohappoja, jotka sisältävät rikkiä. Sitä on erityisesti eläinkunnan proteiinissa, pähkinöissä sekä viljoissa ja fosforia on lihassa ja maitotuotteissa. Emäksisyyttä puolestaan lisäävät runsaasti kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia sisältävät ruoka-aineet. Näitä sisältäviä ruoka-aineita ovat kasvikset ja hedelmät sekä maitotuotteet. (Alexy ym. 2007; Remer & Manz, 1994.) Ruokavaliolla aiheutettu elimistön happamuuden lisääntyminen näkyy erityisesti virtsan pH:n laskussa. (Reddy ym. 2002; Remer & Manz, 1994.)

Aiempaa tutkimusnäyttöä ei ole miten emäksisyyttä lisäävä ruokavalio, joka sisältää paljon kasviksia ja hedelmiä, vaikuttaa voima- tai kestävyysharjoittelun aikaansaamiin adaptaatioihin verrattuna ”normaaliin” happamuutta aiheuttavaan ruokavalioon, joka ei sisällä paljoa kasviksia ja hedelmiä. Lisäksi ns. normaaliin ruoka-aineiden vaikutusta happo-emästasapainoon ja suorituskykyyn on tutkittu vain vähän. Niinpä tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten emäksisyyttä tuottava, erittäin runsaasti kasviksia ja hedelmiä sisältävä mutta muuten yleisten ravintosuositusten mukainen

ruokavalio vaikuttaa voima- ja kestävyysominaisuuksiin sekä elimistön happo-emästasapainoon 12 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelujakson aikana verrattuna happamuutta tuottavaan, vähän kasviksia ja hedelmiä sisältävään mutta muuten yleisten ravintosuositusten mukaiseen ruokavalioon.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Elimistön happo-emästasytappaino

Aineita jotka pystyvät luovuttamaan liuoksessa vetyioneja (H^+), kutsutaan happoiksi. Esimerkiksi hiilihappo (H_2CO_3) ionisoituu vedessä bikarbonaatti-ioneiksi (HCO_3^-) ja vetyioneiksi. Emäksiksi kutsutaan aineita, jotka pystyvät vastaanottamaan vetyioneja. Esimerkiksi bikarbonaatti-ioni pystyy vastaanottamaan vetyioneja muodostaen hiilihappoa. Kehomme proteiinit ovat emäksiä, koska osalla proteiinien aminohapoista on negatiivinen varaus, jolloin ne pystyvät vastaanottamaan vetyioneja. (Guyton & Hall 2006, 383.)

Kehon nesteiden vetyionikonsentraatiota kuvaa pH-arvo, joka määritellään:

$$pH = \log 1/[H^+] = - \log [H^+]$$

Esimerkiksi veren pH:ksi voidaan laskea:

$$pH = - \log [0,00000004]$$

$$pH = 7,4$$

pH on kääntäen verrannollinen vetyionikonsentraatioon, jolloin matala pH kertoo nesteen korkeasta vetyionikonsentraatiosta ja päinvastoin. Valtimoveren normaali pH on noin 7,4. Laskimoveren pH on noin 7,35, koska se sisältää enemmän hiilidioksidia kuin valtimoveri. Ihmisen elimistö on *asidoosissa*, kun valtimoveren pH laskee alle 7,4:n. *Alkaloosissa* valtimoveren pH nousee yli 7,4:n. Solunsisäinen pH on hieman alempi kuin solunulkoisen nesteen, koska solunsisäiset aineenvaihduntareaktiot muodostavat happamia lopputuotteita kuten hiilihappoa. Riippuen solutyypistä, solunsisäinen pH on noin 6,0:sta 7,4:ään. Virtsan pH voi vaihdella 4,5:stä 8,0:aan, riippuen solunulkoisen nesteen vetyionikonsentraatiosta. (Guyton & Hall 2006, 384.)

Vetyionikonsentraation tarkka säätely kehossamme on erittäin tärkeää, koska vetyionikonsentraation muutokset perustilasta vaikuttavat negatiivisesti lähes kaikkiin

kehomme entsyymattisiin reaktioihin. Tätä kautta vetyionikonsentraation muutokset vaikuttavat sekä solujemme, että kehomme toimintaan. Vetyionikonsentraation tarkkaa säätelyä korostaa myös se, että vetyionipitoisuus kehomme nesteissä on huomattavasti matalampi kuin muiden ionien. Veren vetyionikonsentraatio on normaalisti säädelty tiukasti noin 40:een nEq/L. Normaalissa tilassa vetyionikonsentraatio poikkeaa tästä vain 3–5 nEq/L. Äärimmäisissä oloissa veren vetyionikonsentraatio voi olla alimmillaan 10 nEq/L ja ylimmillään 160 nEq/L aiheuttamatta kuolemaa. (Guyton & Hall 2006, 383–384.)

Plasmassa vetyionikonsentraatioon vaikuttavat kolme riippumatonta tekijää, joita ovat: hiilidioksidin osapaine, vahvojen ionien pitoisuusero (SID) sekä heikkojen happojen kokonaismäärä. SID:ä voidaan arvioida seuraavalla kaavalla: $SID = (Na^+ + K^+) - (Cl^- + La^-)$. SID arvon ollessa positiivinen vetyionien määrä plasmassa vähenee. Hiilidioksidin osapaineen nousu lisää vetyionikonsentraatiota. Plasman heikoista hapoista suurin osa on fosfaatteja ja albumiinia. Riippumattomat muuttujat aiheuttavat plasmassa riippuvien muuttujien pitoisuuksissa muutoksia. Riippuvia muuttujia ovat esimerkiksi vetyionit ja bikarbonaatti-ionit. (Kellum 2000.)

2.1.1 Kemiaalliset puskurointijärjestelmät

Kemiaallinen puskuri on aine, joka voi reagoida käänteisesti vetyionien kanssa, eli se voi sekä vastaanottaa että luovuttaa vetyioneja. Kemiaalliset puskurit koostuvat heikosta haposta ja tämän heikon hapon suolasta. Kehomme nesteissä on kemiaallisia puskureita, jotka vastustavat pH:n muutoksia reagoimalla happamien ja emäksisten aineiden kanssa. Kun kemiaallisia puskureita sisältävään liuokseen tuodaan vahvaa happoa, syntyy heikkoa happoa ja ioniyhdiste. Kun kemiaallisia puskureita sisältävään liuokseen tuodaan vahvaa emästä, syntyy heikkoa emästä ja ioniyhdistettä. Kemiaalliset puskurit pystyvät reagoimaan vetyionikonsentraation muutoksiin sekunnin murto-osassa. (Guyton & Hall 2006, 384.)

Solunulkoisen nesteen tärkein kemiaallinen puskurointijärjestelmä on bikarbonaatti-puskurointijärjestelmä, joka koostuu liuoksissa hiilihaposta ja natriumbikarbonaatista. Vetyionikonsentraation noustessa solunulkoisessa tilassa bikarbonaatti-ionit reagoivat

vetyionien kanssa muodostaen hiilihappoa. Hiilihappo hajoaa kehon nesteissämme hiilidioksidiksi ja vedeksi karboanhydraasi-entsyymin katalysoimana. Karboanhydraasia on erityisesti keuhkojen alveolien seinämissä, joista hiilidioksidi siirtyy uloshengityksen kautta pois elimistöstä. Veren kohonnut hiilidioksidin osapaine lisää ventilaatiota, jolloin hiilidioksidia poistuu voimakkaammin kehon nesteistä. (McArdle ym. 2010, 301.)

Mikäli solunulkoisen tilan vetyionikonsentraatio laskee, muodostaa vesi hiilidioksidin kanssa hiilihappoa, joka hajoaa edelleen vetyioneiksi ja bikarbonaatti-ioneiksi. Bikarbonaattipuskurointijärjestelmä voidaan tiivistää seuraavaan reaktioyhtälöön:



Asidoosissa reaktioyhtälö etenee vasemmalle, kun taas alkaloosissa reaktio etenee oikealle. (McArdle ym. 2010, 301.)

Fosfaattipuskurointijärjestelmä koostuu fosforihaposta ja natriumfosfaatista. Fosfaattipuskurointijärjestelmä toimii samalla periaatteella kuin bikarbonaattijärjestelmä. Fosfaattipuskurointijärjestelmä on tärkeä munuaisten tubuluksissa ja solun sisäisessä nesteessä, joissa fosfaattipitoisuus on suhteellisen korkea. Veren plasmaproteiineista hemoglobiini on tärkein happoemästäsapainon osallistuva proteiini. Hemoglobiinin luovutettua hapen kohdekudoksille, siitä muodostuu heikko happo ja se voi reagoida vetyionin kanssa. Solun sisäiset kudosproteiinit osallistuvat myös plasman happo-emästäsapainon ylläpitoon. (McArdle ym. 2010, 301.)

2.1.2 Fysiologiset puskurointijärjestelmät

Hengitys on fysiologinen puskurointijärjestelmä ja se osallistuu happo- emästäsapainon säätelyyn kemiallisten puskurointijärjestelmien jälkeen. Hengitys on noin kaksi kertaa voimakkaampi puskurointijärjestelmä kuin kemialliset puskurointijärjestelmät. (Guyton & Hall 2006, 388–389.) Solun ulkoisen nesteen pH:n lasku stimuloi hengitystä lisäten

ventilaatiota. Tällöin veren hiilidioksidin osapaine laskee. Seurauksena tästä on vetyionien ja bikarbonaatti-ionien voimakkaampi reagoiminen, jolloin solun ulkoisen nesteen vapaiden vetyionien pitoisuus laskee ja hiilihappoa muodostuu. Hiilihappo hajoaa keuhkoissa edelleen vedeksi ja hiilidioksidiksi, joka hengitetään ulos. Levossa hyperventilaatiolla voidaan veren pH nostaa 7,4:stä 7,63:een. Hypoventilaatiolla puolestaan voidaan veren pH:ta levossa laskea 7,4:stä 7,17:ään. (McArdle ym. 2010, 302.)

Munuaiset ovat tehokkain, mutta hitain elimistön happo-emästasyytilän puskurointijärjestelmä. Munuaiset säätelevät solunulkoisen nesteen vetyionikonsentraatiota kolmella tavalla: 1) erittämällä virtsaan vetyioneja, 2) ottamalla takaisin bikarbonaatti-ioneja ja 3) muodostamalla uusia bikarbonaatti-ioneja. Munuaiset osallistuvat happo-emästasyytilän ylläpitoon erittämällä joko emäksistä tai hapanta virtsaa. Emäksinen virtsa vähentää kehon nesteiden emäksisyyttä, kun taas hapanta virtsaa vähentää elimistön happamuutta. Elimistö pystyy poistamaan hengityksen kautta ainoastaan hiilihappoa, minkä vuoksi muut hapot joudutaan poistamaan munuaisten kautta.

Vetyionien eritystä ja bikarbonaatti-ionien takaisinottoa tapahtuu munuaistiehyissä kaikkialla, lukuun ottamatta Henlen lingon ohutta nousevaa ja laskevaa osaa. Proksimaalisessa tubuluksessa tapahtuu suurin osa vetyionien erityksestä ja bikarbonaatin takaisinotosta. Jokaista takaisinotettua bikarbonaatti-ionia vastaa yksi eritetty vetyioni.

Proksimaalisessa tubuluksessa, Henlen lingon paksussa laskevassa osassa ja distaalisen tubuluksen alkuosassa bikarbonaattien takaisinotto ja vetyionien erityksensä perustuu tubulussoluissa tapahtuvaan reaktioon. Tässä reaktiossa hiilidioksidi diffusoituu tubulaaristen solujen soluvälitilasta tubulussolujen sisään, joissa hiilidioksidi reagoi veden kanssa muodostaen hiilihappoa. Hiilihappo hajoaa tubulussoluissa bikarbonaatti-ioneiksi ja vetyioneiksi. Vetyionit kulkeutuvat luumeniin natrium yhteiskuljetuksen avulla. Bikarbonaatti-ionit kulkeutuvat soluvälitilaan, ja sieltä vereen. Luumeniin suodatetut bikarbonaatti-ionit reagoivat luumenissa olevien vetyionien kanssa muodostaen hiilihappoa. Hiilihappo hajoaa hiilidioksidiksi ja vedeksi. Hiilidioksidi diffusoituu tubulussolujen sisään, jossa se puolestaan reagoi veden kanssa muodostaen

hiilihappoa. Hiilihappo hajoaa tubulussoluissa bikarbonaatti- ja vetyioneiksi. Vetyionit kulkeutuvat luumeniin ja bikarbonaatti-ionit soluvälitilaan ja sieltä verenkiertoon. Distaalisen tubuluksen ja kokoojatubulusten alueella tapahtuu primääristä aktiivista vetyionien eritystä. Soluja, joissa tapahtuu primääristä aktiivista vetyionien eritystä, kutsutaan interkalaattisoluiksi. Reaktiossa hiilidioksidi diffusoituu soluvälitilasta interkalaattisolujen sisään, jossa se reagoi veden kanssa muodostaen hiilihappoa. Hiilihappo hajoaa bikarbonaatti- ja vetyioneiksi. Vetyionit pumpataan aktiivisesti ATP:n avulla luumeniin. Bikarbonaatti-ionit kulkeutuvat soluvälitilaan ja sieltä vereen.

Vetyionit reagoivat muiden puskureiden kanssa luumenissa, mikäli vetyioneja on luumenissa enemmän kuin bikarbonaatti-ioneja. Tärkeimmät luumenissa olevat puskurit ovat fosfaatit ja ammoniakki. Ylimäärä vetyioneja virtsassa kulkeutuu pääasiassa sitoutuneina näihin puskureihin. Virtsassa onkin erittäin vähän vapaita vetyioneja. Alkaloosissa luumeniin suodatetussa nesteessä on bikarbonaatti-ioneja enemmän suhteessa vetyioneihin. Tällöin kaikkea bikarbonaattia ei voida ottaa takaisin verenkiertoon. Ylimäärä bikarbonaatti-ioneja poistuu virtsan mukana, tasapainottaen elimistön happo-emästasapainoa.

Vetyionien eritystä ja bikarbonaatti-ionien takaisinottoa lisäävät hiilidioksidin osapaineen kasvu, vetyionien konsentraation kasvu, bikarbonaatti-ionien konsentraation pieneneminen, solun ulkoisen nesteen tilavuuden väheneminen, angiotensiini 2 -pitoisuuden kasvu, aldosteronipitoisuuden nousu ja hypokalemia. Vetyionien eritystä ja bikarbonaatti-ionien takaisinottoa vähentävät hiilidioksidin osapaineen pientyminen, vetyionikonsentraation pieneneminen, bikarbonaatti-ionien konsentraation kasvu, solun ulkoisen nesteen tilavuuden lisääntyminen, angiotensiini 2 -pitoisuuden lasku, aldosteronipitoisuuden lasku ja hyperkalemia. (Guyton & Hall 2006, 390–397.)

2.2 Liikunta, happo-emästatapaino ja laktaatti

Veren laktaattipitoisuus on riippuvainen liikunnan tehosta. Kevyellä ja kohtuullisella teholla tehtävässä kuormituksessa muodostuva laktaatti pystytään poistamaan niin, ettei sitä ala kertyä lihaksistoon ja vereen. Suorituksen tehon noustessa lihaksissa ei ole tarpeeksi happea, jotta kaikki ATP voitaisiin muodostaa aerobisesti mitokondrioissa. Kun happea ei ole tarpeeksi käytössä, ATP:tä joudutaan muodostamaan enemmän anaerobisen glykolyysin avulla, jonka sivutuotteena syntyy maitohappoa, joka edelleen hajoaa vetyioneiksi ja laktaatiksi. Laktaatin muodostusta lisää myös se, että kasvaneen suoritustehon takia rekrytoidaan enemmän ja enemmän tyyppin 2 lihassoluja, jotka muodostavat ATP:tä enemmän anaerobisen glykolyysin avulla kuin tyyppin 1 lihassolut. (McArdle ym. 2010, 163–164.) Anaerobisessa glykolyysissä glukoosimolekyylistä muodostetaan solulimassa kaksi palorypälöhappoa, joista hapen puuttuessa muodostetaan pyruvaattia, joka edelleen pelkistyy laktaatiksi. Tätä reaktiota katalysoi laktaattidehydrogenaasientsyymi. Kun palorypälöhaposta muodostetaan anaerobisissa olosuhteissa maitohappoa, NADH molekyyli hapettuu NAD⁺:ksi. Ilman tätä hapettumisreaktiota anaerobinen glykolyysi ei voisi toimia. (Silverthorn ym. 2007, 105–107.) Laktaatti itsessään ei aiheuta lihasväsymystä, mutta sitä mittaamalla voidaan epäsuorasti arvioida lihaksen aineenvaihdunnallisia olosuhteita esimerkiksi raskaan liikuntasuorituksen aikana. (Robergs ym. 2004.)

Syntynyt maitohappo hajoaa nopeasti muodostumisensa jälkeen laktaatiksi ja vetyioneiksi. Laktaatti ja vetyionit diffusoituvat tai ne kuljetetaan solukalvon läpi soluvälitilaan, josta ne kulkeutuvat verenkiertoon. Anaerobisen glykolyysin sivutuotteena syntyvää laktaattia käytetään energianlähteeksi sydämessä ja lihaksissa. Erityisesti tyyppin 1 lihassolut pystyvät käyttämään laktaattia palorypälöhapon uudismuodostuksessa. Lisäksi laktaatista tehdään glukoosia maksassa Corin syklistä. Maitohapon muodostuminen anaerobisen glykolyysin lopputuotteena vastaa noin 85 % vetyionipitoisuuden noususta ja pH:n laskusta lihaksessa ja veressä. PH:n lasku inhiboi glykolyysin toimintaa ja lihassolujen supistumista, mikä johtaa suorituskyvyn heikkenemiseen. (Mero ym. 2004, 98, 115–118.) Raskaan liikunnan aikana lihaksen ja veren happamoitumista lisää myös lisääntynyt ATP:n hydrolysointi ADP:ksi, jolloin syntyy sivutuotteena vapaita vetyioneja ja epäorgaanisia fosfaatti-ioneja. Fosfaatti-ionit

sidotaan ADP molekyyleihin ja vetyionit jäävät vapaaksi lihassoluun, laskien lihaksen pH:ta, jos lihaksen puskurointikyky ylittyy. (Robgers ym. 2004.)

Solun ulkoiset ja sisäiset kemialliset puskurit reagoivat ensimmäisinä kovan liikunnan aiheuttamaan pH:n laskuun. Solun sisäisistä kemiallisista puskureista tärkeimpiä ovat proteiinit ja fosfaatit. Bikarbonaattipuskurointi järjestelmä puskuroi happamuutta vastaan solun ulkoisessa tilassa sekä veressä. Myös hemoglobiinilla on merkittävä rooli happamuuden puskuroinnissa veressä. Kemialliset puskurit puskuroivat happamuutta reagoimalla vetyionien kanssa, vähentäen vapaiden vetyionien määrää. (McArdle ym. 2010, 301)

Hengityksellä on merkittävä rooli happamuuden puskuroinnissa raskaan liikunnan aikana. PH:n lasku sekä veren hiilidioksidin osapaineen nousu stimuloivat hengityskeskusta, minkä seurauksena ventilaatio kiihtyy ja hiilidioksidia poistuu elimistöstä. Hiilidioksidin osapaineen nousu johtuu lihassolujen kasvaneesta metaboliasta ja hiilihapon hajoamisesta vedeksi ja hiilidioksidiksi sen jälkeen, kun bikarbonaatti ja vetyionit ovat reagoidessaan muodostaneet hiilihappoa. Hiilidioksidin poistuminen kiihdyttää vapaiden vetyionien ja bikarbonaattien reagoimista, mikä vähentää elimistön happamuutta. (McArdle ym. 2010, 301–302.)

Raskas liikunta tekee pH:n säätelämisen erittäin vaikeaksi sekä lihassoluissa että veressä. Erittäin kovatehoisen anaerobisen harjoituksen seurauksena veren pH voi laskea jopa 6,80:een. Tällöin lihassolujen sisällä pH voi laskea jopa 6,4:ään. Ilman puskureita pH laskisi huomattavasti alemmaksi. (McArdle ym 2010, 302.)

2.3 Harjoittelun vaikutus laktaattiin ja happo-emästasyyppiin kuormituksessa

Simon ym. (1986) huomasivat tutkimuksessaan, että harjoitelleilla polkupyöräilijöillä veren laktaattipitoisuus alkoi kerääntyä sekä suuremmalla absoluuttisella teholla että korkeammalla suhteellisella teholla koehenkilöiden maksimaalisesta hapenottokyvystä. He eivät kuitenkaan huomanneet veren maksimaalisessa laktaattipitoisuudessa eroa

harjoitelleiden ja harjoittelemattomien välillä. Hurley ym. (1984) tutkivat miten 12 viikon harjoittelujakso vaikuttaa veren laktaattipitoisuuteen submaksimaalisessa kuormituksessa. He huomasivat, että veren laktaattipitoisuus nousi korkeammalla teholla suhteutettuna heidän maksimaaliseen hapenotto- ja kestävyyskykyynsä 12 viikon harjoittelujakson jälkeen kuin harjoitusjaksoa ennen. Tutkimuksista voidaan päätellä, että kestävyys- ja harjoittelun parantaa laktaatin poistokykyä.

Anaerobinen harjoittelu parantaa lihaksen ja veren puskurointikapasiteettiä. Parantunut puskurointikapasiteetti mahdollistaa glykolyysin tehokkaamman toiminnan. Tehokkaampi glykolyysin toiminta aiheuttaa anaerobisesti harjoitelleilla korkeamman veren maksimaalisen laktaattipitoisuuden ja paremman maksimaalisen tehon lyhyessä maksimaalisessa suorituksessa verrattuna harjoittelemattomiin ja kestävyys- ja harjoitelleisiin. Lisäksi anaerobinen harjoittelu lisää anaerobisessa glykolyysissä tarvittavien entsyymien määrää, mikä johtaa parempaan anaerobisen glykolyysin toimintaan. (Willmore & Costill, 2004, 198–200.)

2.4 Ravinnon vaikutus happo-emästasyytilään

Tiedetään, että ravinnolla voidaan vaikuttaa elimistön happo-emästasyytilään. Erityisesti paljon proteiinia ja vähän hedelmiä sekä kasviksia sisältävä ruokavalio lisää elimistön happamuutta. Elimistön happamoituminen huomataan selkeimmin virtsan pH:n laskussa. On huomattu myös, että paljon kasviksia ja vähän proteiinia sisältävä ruokavalio vähentää virtsan happamuutta. (Remer & Manz, 1994.)

Suolistolla on merkittävä rooli elimistön happo-emästasyytilään. Suolisto ei itsessään tuota happamia tai emäksisiä aineita. Se kuitenkin aiheuttaa niin sanottuja ”happo- ja emäskuormia”, jotka johtuvat eri ionien imeytymisasteiden vaihtelusta. Esimerkiksi kun magnesiumkloridia tulee ruoan mukana suoleen, kloridista noin 95 % prosenttia imeytyy, kun taas magnesiumista imeytyy vain noin kolmannes. Jotta veren elektronegatiivisuus säilyisi tasapainossa, täytyy haiman erittää natriumbikarbonaattia. Bikarbonaatti-ioni, joka on peräisin haiman erittämästä natriumbikarbonaatista, reagoi imeytymättömän magnesiumin kanssa muodostaen magnesiumkarbonaattia.

Natriumionit päätyvät vereen tasapainottaen veren elektronegatiivisuutta. Näin elimistön natriumbikarbonaattipitoisuus vähenee, mikä johtaa heikentyneeseen puskurointikykyyn. Lisäksi suolisto säätelee rikkiä sisältävien aminohappojen imeytymisen määrää. Imeytyneiden rikkiä sisältävien aminohappojen metabolia lisää elimistön vapaiden vetyionien määrää. (Remer ym. 2001)

Maksa ja muut aineenvaihdunnallisesti aktiiviset kudokset aiheuttavat happo- ja emäskuormia. Esimerkiksi maksassa tapahtuva rikkiä sisältävien aminohappojen muokkaaminen ureaksi ja hiilidioksidiksi tuottaa rikkihappoa. Toisaalta orgaanisten happojen kuten natriumsitraatin metabolia lisää kehossa bikarbonaatti-ionien määrää. (Remer ym. 2001.)

2.4.1 Happamuutta ja emäksisyyttä aiheuttava ruokavalio

Happamuutta aiheuttavia ruoka-aineita ovat pääasiassa rikkiä ja fosforia sisältävät ruoka-aineet. Rikkiä on erityisesti eläinkunnan proteiinissa, pähkinöissä ja viljoissa, koska niiden sisältämät aminohapot sisältävät rikkiä sisältäviä yhdisteitä. Kysteiniini ja metioniini ovat aminohappoja, jotka sisältävät rikkiä (Guyton & Hall, 853). Fosforia on erityisesti lihassa ja maitotuotteissa. (Alexy ym. 2007.) Lisäksi vähähiilihydraattinen ruokavalio lisää elimistön happamoitumista. Esim. Reddy ym. (2002) huomasivat tutkimuksessaan, että virtsan pH laski erittäin vähähiilihydraattisen ruokavalion seurauksena 6,09:stä 5,56:een kahden viikon aikana.

Emäksisyyttä aiheuttavia ruoka-aineita ovat pääasiassa kaliumia, magnesiumia ja kalsiumia sisältävät ruoka-aineet. Kaliumia ja magnesiumia on erityisesti kasviksissa ja hedelmissä. Kalsiumia on puolestaan sekä kasvisruuissa ja maitotuotteissa. (Alexy ym. 2007.)

2.4.2 Ruokavalion vaikutus happo- emästasapainoon ja suorituskykyyn

Greenhaffin ym. (1987a; 1988b) mukaan ruokavaliolla voidaan vaikuttaa happo-

emästasapainoon ja sitä kautta suorituskykyyn lyhyessä kovatehoisessa kestävyysuorituksessa. Vuonna 1987 julkaistussa tutkimuksessa koehenkilöt polkivat ensiksi 100 % teholla VO₂max:sta uupumukseen asti. Ennen ensimmäistä testiä koehenkilöt olivat noudattaneet normaalia ruokavaliotaan (46 % hiilihydraattia). Testin jälkeen koehenkilöt polkivat kaksi tuntia noin 77 % teholla heidän VO₂max:sta, jotta heidän glykogeenivarastonsa saatiin tyhjennettyä. Glykogeenivarastojen tyhjennyksen jälkeen koehenkilöt noudattivat matalahiilihydraattista ruokavaliota 3 päivän ajan, jonka jälkeen koehenkilöt toistivat 100 % teholla VO₂max:sta tehtävän testin. Testin jälkeen koehenkilöt noudattivat kolme päivää korkea hiilihydraattista ruokavaliota. Tämän jälkeen tehtiin jälleen 100 % teholla VO₂max:sta tehtävä testi. Tutkimuksissa huomattiin, että normaali- ja korkea hiilihydraattinen ruokavalio paransivat suorituskykyä merkittävästi verrattuna matalahiilihydraattiseen ruokavalioon. Lisäksi huomattiin, että korkeahiilihydraattisen ruokavalion seurauksena levossa veren pH ja bikarbonaattipitoisuus olivat merkittävästi korkeampia kuin matalahiilihydraattisen ruokavalion jälkeen. Tutkimusten perusteella ruokavaliolla saatiin aiheutettua veren pH:n ja bikarbonaattipitoisuuden nousu, jonka seurauksena veren puskurointi kapasiteetti ja suorituskyky paranivat.

Greenhaffin ym. (1988a) tekemässä tutkimuksessa huomattiin, että matalahiilihydraattinen ruokavalio aiheutti uupumuksen huomattavasti aikaisemmin normaali- ja korkeahiilihydraattiseen ruokavalioon verrattuna, koehenkilöiden polkiessa 100 % teholla heidän VO₂max:sta. Jokaista ruokavaliota noudatettiin neljän päivän ajan, jonka jälkeen suoritettiin suorituskykytesti. Tutkimuksessa huomattiin myös, että matalahiilihydraattinen ruokavalio aiheutti merkittävästi matalamman plasman pH:n ja bikarbonaattipitoisuuden ennen testiä verrattuna normaali- ja korkeahiilihydraattiseen ruokavalioon. Tutkimuksen perusteella voidaan olettaa, että ruokavaliolla voidaan vaikuttaa plasman puskurointikapasiteettiin ja sitä kautta suorituskykyyn. Tutkimuksissa noudatettu matalahiilihydraattinen ruokavalio sisälsi paljon rasvaa ja proteiinia, mikä aiheutti koehenkilöillä metabolisen asidoosin. Tämä johti heikentyneeseen puskurointikykyyn ja suorituskykyyn.

On olemassa myös tutkimuksia, jossa ei ole huomattu ruokavaliolla olevan vaikutusta suorituskykyyn noin kolmen minuutin maksimaalisessa suorituksessa. Ball & Maughan

(1997) eivät huomanneet runsashiilihydraattisella ruokavaliolla olevan vaikutusta noin kolmen minuutin maksimaalisessa testissä. Testissä koehenkilöt polkivat 100 % teholla heidän maksimaalisesta hapenottokyvystään uupumukseen asti. Tutkimuksessa ei myöskään huomattu korkeahiilihydraattisella ruokavaliolla olevan vaikutusta veren puskurointikapasiteettiin. Quirion ym. (1988) eivät huomanneet runsashiilihydraattisella ruokavaliolla olevan vaikutusta kestävyysuorituskykyyn maksimaalisen hapenottokyvyn testissä. Lisäksi veren maksimaalisessa laktaattipitoisuudessa ei ollut eroa kontrolliryhmään verrattuna.

Natriumbikarbonaatilla tai natriumsitraatilla pystytään hetkellisesti nostamaan voimakkaasti veren pH:ta ja bikarbonaattipitoisuutta (McNaughton ym. 1999; Ball & Maughan 1997; Bishop & Claudius 2005). Lisäksi tutkimuksissa on huomattu natriumbikarbonaatilla tai natriumsitraatilla olevan lyhyttä maksimaalista suorituskykyä parantava vaikutus (McNaughton ym. 1999; Bishop ym. 2004; McNaughton & Cedaro 1991). Natriumbikarbonaatilla on saatu aiheutettua korkeampi maksimaalinen veren laktaattipitoisuus kuin plasebolla (McNaughton & Cedaro 1991; Bishop ym. 2004; Lindh ym. 2008; Ibanez ym. 1995). Korkeammasta veren laktaattipitoisuudesta voidaan päätellä, että natriumbikarbonaattitankkaus tehostaa glykolyysin toimintaa parantuneen solun ulkoisen tilan puskurointikyvyn takia (Bishop ym. 2003). Kuitenkin esimerkiksi Ballin ja Maughanin (1997) tekemässä tutkimuksessa ei huomattu natriumsitraatilla olevan vaikutusta veren maksimaaliseen laktaattipitoisuuteen.

On myös tutkimuksia, joissa natriumbikarbonaatilla tai natriumsitraatilla ei ole ollut suorituskykyä parantavaa vaikutusta. Esimerkiksi Ball ja Maughan (1997) eivät huomanneet noin kolmen minuutin maksimaalisessa suorituksessa hyötyä natriumsitraattitankkauksesta. Lisäksi Ööpik ym. (2004) eivät huomanneet natriumsitraatin parantavan 5000 metrin juoksuaikaa. Näiden tutkimusten perusteella voidaankin olettaa, että natriumbikarbonaatista on hyötyä erityisesti suorituksissa, joissa anaerobinen glykolyysi on merkittävin ATP:n tuottotapa.

Ruokavaliolla aiheutetun metabolisen alkaloosin vaikutusta voimaominaisuuksiin on tutkittu melko vähän. Kuitenkin keinotekoisesti natriumbikarbonaatilla aiheutetun metabolisen alkaloosin vaikutuksia voimaominaisuuksiin on tutkittu muutamissa tutkimuksissa. Isokineettisessä polvenojennusmittauksessa natriumbikarbonaatilla

aiheutettu metabolinen alkaloosi paransi sekä tehtyä työn määrää, että maksimaalista vääntömomenttia (Coombes & McNaughton 1993). Materko ym. (2008) eivät huomanneet natriumbikarbonaatilla aiheutetusta metabolisesta alkaloosista olevan hyötyä kymmenen toiston maksimisarjassa. Webster ym. (1993) eivät huomanneet natriumbikarbonaattitankkauksella olevan suorituskykyä parantavaa vaikutusta noin 70 % 1 RM:stä olevissa toistomaksimisarjoissa.

2.4.3 PRAL

On olemassa laskukaava, jonka avulla pystytään luotettavasti määrittämään ruoka-aineiden aiheuttama happokuorma elimistössä. Ruoka-aineiden aiheuttama happokuorma lasketaan seuraavalla kaavalla: PRAL (potential renal acid loading) (mEq/d) = $0,49 \times \text{proteiini (g/d)} + 0,037 \times \text{fosfori (mg/d)} - 0,021 \times \text{kaliium (mg/d)} - 0,026 \times \text{magnesium (mg/d)}$ (Remer ym. 2003.)

PRAL:ia laskettaessa tulee ottaa huomioon keskeisten ravintoaineiden imeytymisaste suolistossa (esim. proteiinin, jotta voidaan määrittää sulfaatin määrä), fosfaatin dissosioitumisen taso pH:ssa 7,4 ja magnesiumin ja kaliumin ionivalenssi. (Remer ym. 2003.)

PRAL:n ollessa < 0 , ruoka-aine aiheuttaa elimistössä emäksisyyttä, kun taas PRAL:n ollessa > 0 ruoka-aine aiheuttaa elimistössä happamuutta. Juureksilla, kasviksilla ja hedelmillä PRAL < 0 . Maitotuotteilla, lihalla, kananmunilla, viljatuotteilla PRAL > 0 . (Alexis ym. 2007.)

3 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten emäksisyyttä tuottava ruokavalio vaikuttaa voima- ja kestävyysominaisuuksiin sekä elimistön happo-emästasapainoon verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon 12 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun aikana.

1. **Tutkimusongelma:** Miten emäksisyyttä tuottava ruokavalio vaikuttaa maksimaaliseen pyöräilytehoon, hapenottokykyyn ja veren maksimaaliseen laktaattipitoisuuteen polkupyöräergometrillä tehtävässä maksimaalisessa hapenottokyvyn testissä verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon 12 viikon yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun jälkeen?

1. **Hypoteesi:** Emäksisyyttä tuottava ruokavalio parantaa maksimaalista pyöräilytehoa ja tuottaa korkeamman veren maksimaalisen laktaattipitoisuuden maksimaalisessa hapenottokyvyn testissä polkupyöräergometrillä 12 viikon yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun jälkeen verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon.

1. **0-hypoteesi.** Emäksisyyttä tuottava ruokavalio ei paranna maksimaalista pyöräilytehoa ja ei tuota korkeampaa veren maksimaalista laktaattipitoisuutta maksimaalisessa hapenottokyvyn testissä polkupyöräergometrillä 12 viikon yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun jälkeen verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon.

Perustelu. Greenhaffin ym. (1987a; 1988a; 1988b) mukaan ruokavaliolla voidaan parantaa maksimaalista lyhytkestoista kestävyysuorituskykyä. Kuitenkaan Ball & Maughan (1997) eivät huomanneet ruokavaliolla tai natriumbikarbonaatilla aiheutetulla metabolisella alkaloosilla olevan vaikutusta noin 3 minuutin mittaisessa maksimaalisessa suorituksessa. On huomattu, että natriumbikarbonaattitankkaus parantaa minuutin tai sitä lyhyemmän suorituksen kokonais- ja huipputehoa (Bishop ym. 2003; McNaughton ym. 2008). Tutkimuksissa on huomattu, että keinotekoisesti aiheutettu metabolinen alkaloosi aiheuttaa maksimaalisessa työssä korkeamman maksimaalisen veren laktaattipitoisuuden kuin plasebo- tai koeryhmissä esim.

(McNaughton & Cedaro 1991; Bishop ym. 2004; Lindh ym. 2008; Ibanez ym. 1995). Näiden tutkimusten perusteella voi olettaa, että emäksisyyttä tuottava ruokavalio parantaisi maksimaalista pyöräilytehoa verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon parantuneen veren puskurointikyvyn takia. Parantunut veren puskurointikyky aiheuttaisi myös anaerobisen glykolyysin tehostuneen toiminnan, mikä aiheuttaisi korkeamman veren maksimaalisen laktaattipitoisuuden. Aiemman kirjallisuuden perusteella ei voida luoda hypoteeseja miten emäksisyyttä tuottava ruokavalio vaikuttaa maksimaaliseen hapenottokykyyn verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon. Lisäksi aiemman tutkimuskirjallisuuden perusteella ei voida luoda hypoteeseja miten emäksisyyttä tuottava ruokavalio vaikuttaa yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun aikaansaamiin adaptaatioihin happamuutta tuottavaan ruokavalion verrattuna.

2. Tutkimusongelma. Miten emäksisyyttä tuottava ruokavalio vaikuttaa levossa virtsan ja veren happamuuteen sekä veren bikarbonaattipitoisuuteen verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon 12 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun aikana.

2. Hypoteesi: Emäksisyyttä tuottava ruokavalio nostaa veren ja virtsan pH:ta sekä veren bikarbonaattipitoisuutta levossa 12 viikon yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun jälkeen verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon.

2. 0-hypoteesi: Emäksisyyttä tuottava ruokavalio ei nostaa veren ja virtsan pH:ta, eikä veren bikarbonaattipitoisuutta levossa 12 viikon yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun jälkeen verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon.

Perustelu. Ruokavalio- tai lisäravinnemanipulaatiolla pystytään vaikuttamaan elimistön happo-emäs tasapainoon levossa. Useissa tutkimuksissa on saatu aiheutettua veren pH:n ja bikarbonaattipitoisuuden merkittävä hetkellinen nousu esimerkiksi natriumbikarbonaatti- tai natriumsitraattitankkauksella (McNaughton ym. 1999; Ball & Maughan 1997; Bishop & Claudius 2005). Lisäksi on huomattu, että tietyn sisältöisellä korkeahiilihydraattisella ruokavaliolla saadaan aiheutettua parantunut veren puskurointikapasiteetti verrattuna matalahiilihydraattiseen runsaasti rasvaa ja proteiinia sisältävään ruokavalioon. Lisäksi on osoitettu, että ruokavaliolla on vaikutusta virtsan happamuuteen. Esim. Reddy ym. (2002) huomasivat tutkimuksessaan, että virtsan pH laski erittäin vähähiilihydraattisen (korkea rasva- ja proteiinisisältö) ruokavalion

seurauksena 6,09:stä 5,56:een kahden viikon aikana. Aiempien tutkimusten perusteella voidaankin ajatella, että emästä tuottavalla ruokavaliolla saataisiin vietyä elimistön happo-emästasapainoa emäksisempään suuntaan verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon.

3. Tutkimusongelma: Miten emäksisyyttä tuottava ruokavalio vaikuttaa isometriseen ja dynaamiseen maksimivoimaan jalkaprässissä ja isometrisessä pystypunnerruksessa 12 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun jälkeen verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon?

3. Hypoteesi: Emäksisyyttä tuottava ruokavalio ei paranna maksimivoimaa verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon 12 viikon yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun jälkeen.

3. 0-hypoteesi: Emäksisyyttä tuottava ruokavalio parantaa maksimivoimaa verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon 12 viikon yhdistetyn voima- ja kestävyysharjoittelun jälkeen.

Perustelu. Ruokavaliolla tai lisäravinteilla aiheutetun metabolisen alkaloosin vaikutusta maksimivoimaan on tutkittu vain vähän. Isokineettisessä polvenojennusmittauksessa natriumbikarbonaatilla aiheutettu metabolinen alkaloosi paransi sekä tehtyä työn määrää että maksimaalista vääntömomenttia (Coombes & McNaughton 1993). Materko ym. (2008) eivät huomanneet natriumbikarbonaatilla aiheutetusta metabolisesta alkaloosista olevan hyötyä kymmenen toiston maksimisarjassa. Lisäksi Portington ym (1998) eivät huomanneet natriumbikarbonaatin parantavan yhteistoistomäärää jalkaprässillä tehdyssä viidessä maksimaalisessa sarjassa. Webster ym. (1993) eivät huomanneet natriumbikarbonaattitankkauksella olevan suorituskykyä parantavaa vaikutusta noin 70 % 1 RM:stä olevissa toistomaksimisarjoissa. Lisäksi aiemman tutkimuskirjallisuuden perusteella ei voida luoda hypoteeseja miten emäksisyyttä tuottava ruokavalio vaikuttaa yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun aikaansaamiin adaptaatioihin happamuutta tuottavaan ruokavalion verrattuna.

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

4.1 Koehenkilöt

Koehenkilöitä osallistui tutkimukseen yhteensä 49. Koehenkilöt olivat kuntoliikunnan harrastajia ja olivat iältään 18–40-vuotiaita. Koehenkilöt jaettiin yhteen neljästä ryhmästä sukupuolen ja ruokavalion mukaan: 1) miesten HAPAN -ryhmä, 2) miesten EMÄS -ryhmä, 3) naisten EMÄS -ryhmä ja 4) naisten EMÄS -ryhmä. Koehenkilöiden tiedot on esitetty taulukossa 1.

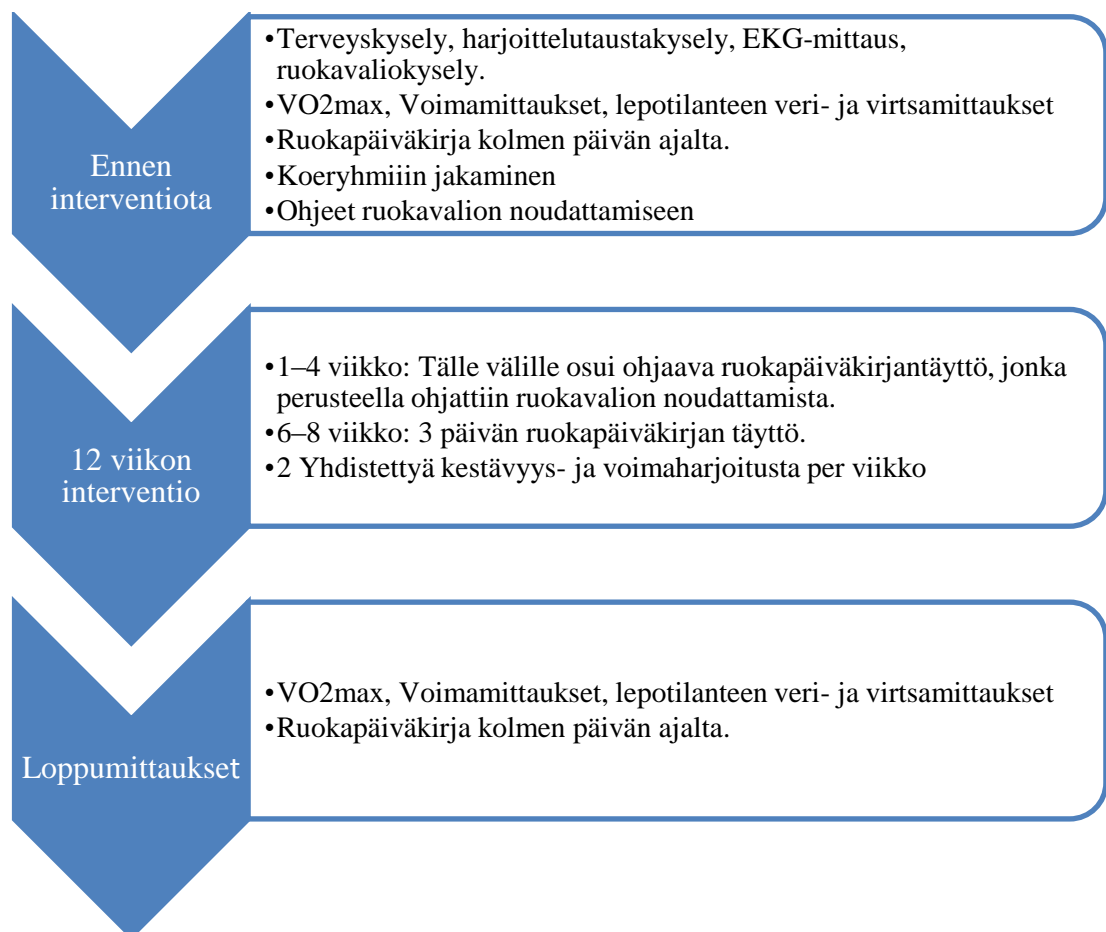
Taulukko 1. Koehenkilöiden ikä, pituus (cm), paino (kg) ja BMI ennen interventiota. Taulukossa esitetyt arvot ovat keskiarvoja \pm keskihajontoja.

	Miesten HAPAN-ryhmä n=13	Miesten EMÄS-ryhmä n=11	Naisten HAPAN-ryhmä n=12	Naisten HAPAN-ryhmä n=13
Ikä (v)	30 \pm 6	30 \pm 8	31 \pm 6	33 \pm 7
Pituus (cm)	176 \pm 6	179 \pm 7	166 \pm 6	167 \pm 7
Paino (kg)	78,6 \pm 9,9	85,8 \pm 9,6	65,3 \pm 10,9	64,2 \pm 7,5
BMI	25,2 \pm 2,4	26,8 \pm 3,4	23,6 \pm 3,4	23,0 \pm 3,5

4.2 Koeasetelma

Koeasetelma on esitetty kuviossa 1. Ennen tutkimuksen alkua koehenkilöille suoritettiin kyselyt ruokavaliosta, harjoittelutaustasta ja terveydestä. Lisäksi koehenkilöille tehtiin EKG-mittaus ennen tutkimuksen alkua. Ennen 12 viikon varsinaista tutkimusjaksoa oli yhden viikon mittainen totutteluviikko, jonka aikana tehtiin yksi yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoitus. Varsinaiset kestävyys- ja voimamittaukset tehtiin ennen ja jälkeen 12 viikon varsinaista tutkimusjaksoa. Tutkimusinterventio kesti yhteensä 12 viikkoa, jonka aikana koehenkilöt tekivät kaksi yhdistettyä kestävyys- ja voimaharjoitusta viikossa (45 min + 45 min). Koehenkilöt jaettiin intervention ajaksi kontrolli- (HAPAN) ja koeryhmään (EMÄS). Kontrolliryhmä noudatti ruokavaliota, joka ei sisältänyt juuri

ollenkaan kasviksia ja hedelmiä. Koeryhmän ruokavalio sisälsi puolestaan erittäin runsaasti kasviksia ja hedelmiä. Koehenkilöille tehtiin maksimaalisen hapenottokyvyn testi polkupyöräergometrillä, jonka perusteella määritettiin maksimaalinen hapenottokyky, veren maksimaalinen laktaattipitoisuus, maksimaalinen pyöräilyteho sekä aerobinen ja anaerobinen kynnys. Mittausten perusteella suunniteltiin koehenkilöiden harjoittelua. Koehenkilöiltä mitattiin myös isometrinen maksimivoima jalkaprässissä ja istuen tehdyssä pystypunnerruksessa sekä yhden toiston maksimi dynaamisessa jalkaprässissä. Voimamittausten tulosten perusteella ohjelmoitiin voimaharjoittelua. Verestä mitattiin lepotilanteessa pH ja bikarbonaattipitoisuus ennen ja jälkeen tutkimusinterventiota. Koehenkilöt pitivät ruokapäiväkirjaa yhteensä 3 x 3 päivää. Ruokapäiväkirjan täyttöajankohdat olivat ennen tutkimusjaksoa, jakson puolivälissä ja tutkimusjakson lopulla. Lisäksi koehenkilöt keräsivät virtsaa ennen ja jälkeen tutkimusjaksoa (12 h paaston ajalta). Kerätystä virtsasta määritettiin pH.



Kuvio 1. Tutkimusasetelma

4.2.1 Ravinto

Koeryhmän ruokavalio (EMÄS-ruokavalio) oli ravitsemussuositusten mukainen, mutta sisälsi erittäin runsaasti kasviksia ja hedelmiä ja koostui paljon ruoka-aineista, jotka oli arvioitu PRAL -menetelmän avulla elimistön emästen tuottoa lisääviksi. Kontrolliryhmä söi myös ravitsemussuositusten mukaan, mutta heidän kasvien saantinsa oli rajoitettua. Tämän ruokavalion arvioitiin tuottavan runsaasti happamuutta (HAPAN-ruokavalio) verrattuna koeryhmän ruokavalioon.

Ennen ravintojakson alkamista kaikille koehenkilöille annettiin ohjeita terveellisen ja ravitsemussuositusten mukaisen ruokavalion koostamiseen. Koehenkilöt pitivät kolmen vuorokauden ajan normaalista ruokavaliostaan ruokapäiväkirjaa, joka analysoitiin ennen tutkimusjakson alkua ja jonka mukaan koehenkilölle annettiin henkilökohtaista palautetta ravitsemussuosituksiin pohjautuen. Ruokapäiväkirjaa pidettiin myös tutkimusjakson alussa, puolivälissä ja lopussa kolmen vuorokauden ajan. Ensimmäisen ohjaavan ruokapäiväkirjajakson ajankohta vaihteli ollen tutkimusviikoilla 1–4. Ruokapäiväkirjoja ei analysoitu ravintolaskentaohjelmalla, mutta niiden avulla tarkistettiin, että ruokavaliota oli alettu noudattaa oikein. Tarvittaessa koehenkilöille annettiin vielä palautetta ja ohjeita ruokavalion muuttamiseksi vastaamaan paremmin tavoiteltua tutkimusruokavaliota. Toinen tutkimusjakson aikainen ruokapäiväkirja täytettiin tutkimusviikoilla 6–8. Ruokapäiväkirjajakso alkoi välittömästi välimittausten verikokeen ja virtsanäytteen jälkeen. Kolmas ruokapäiväkirja ajoittui tutkimusjakson loppuun, 12 harjoitusviikon jälkeen suoritetun mittausjakson kolmelle ensimmäiselle päivälle. Edellisenä yönä ennen ruokapäiväkirjan täytön aloittamista ja seuraavana yönä täytön jälkeen kerättiin paastovirtsanäytteet (12 h). Ruokapäiväkirjoihin merkittiin kaikki kolmen päivän aikana syödyt ja juodut ruoat ja juomat mahdollisimman tarkasti. Kaksi tutkimusjakson jälkimmäistä ruokapäiväkirjaa analysoitiin NutriFlow-ravintolaskentaohjelmalla. (Flow-Team Oy, Oulu, Finland, 2012). Ruokapäiväkirjoista analysoitiin kokonaisenergian, proteiinien, hiilihydraattien, rasvan, fosforin, kaliumin, magnesiumin sekä kalsiumin saantia. Näitä saatuja arvoja käyttämällä laskettiin PRAL -arvo seuraavasti: $PRAL \text{ (mEq/d)} = \text{fosfori (mg/d)} \times 0,0366 + \text{proteiini (g/d)} \times 0,4888 - \text{kalium (mg/d)} \times 0,0205 + \text{kalsium (mg/d)} \times 0,0125 + \text{magnesium (mg/d)} \times 0,0263$. (Alexy ym. 2007.)

Koehenkilöitä pyydettiin myös arvioimaan koko tutkimusjakson ajan viikoittain, miten hyvin kunkin viikon aikana toteutunut ruokavalio vastasi suosituksia. Arviointi tehtiin merkitsemällä kyselylomakkeeseen parhaiten toteutunutta ruokavaliota vastaava vaihtoehto (toivotun tutkimusruokavaliion mukainen, melko hyvin ruokavaliota noudattava, ei tutkimuksen kannalta toivotunlainen ruokavalio).

Koehenkilöitä ohjeistettiin syömään energiantarpeen ja nälän mukaan, mutta kuitenkin säännöllisesti 2–4 tunnin välein. Suositeltavampaa oli syödä pienempiä annoksia useasti (4–6 kertaa) päivässä kuin isompia harvemmin. Molemmat koehenkilöryhmät saivat esimerkkilistan ruokavaliion aikana nautittavista aterioista, joista he saivat valita haluamansa. Aterioita sai muokata kummallekin ruokavaliolle asetettujen raamien puitteissa. Myös suositelluista ruoka-aineista annettiin lista, ja molempiin ruokavaliioihin kuului myös ruoka-aineita, joita tuli välttää kokonaan. Vettä, maitoa, kahvia ja teetä sai juoda tarpeen mukaan (paitsi ei kahvia tai teetä 12 h ennen verikoetta). Monivitamiini- ja kivennäisainevalmisteiden käyttö oli sallittua tutkimuksen aikana. Harjoitusten jälkeen oli suosituksena nauttia proteiinipitoinen ateria tunnin sisällä harjoituksen päättymisestä.

HAPAN -ryhmän ruokavalio pyrittiin pitämään ravitsemussuosituksen mukaisena, mutta kasvien, hedelmien ja marjojen päivittäinen saanti ohjeistettiin 100–120 grammaan päivässä. EMÄS -ryhmän ruokavalio koostui suureksi osaksi kasviksista, hedelmistä ja marjoista. Koehenkilöitä ohjeistettiin syömään niitä päivän aikana vähintään 1000 g, mutta tavoitesaanti oli 1500 g päivässä. Jokaisella pääaterialla tuli syödä salaattia tai vihanneksia jossain muodossa (esim. tuoreena, keitettynä, soseena, keittona). Välipaloiksi suositeltiin hedelmiä ja niitä kehoitettiin syömään useita vuorokauden aikana. Leivän päällä neuvottiin käyttämään salaattia ja muita vihanneksia. Lihan saanti oli ruokavaliopakson aikana rajoitettua. Vuorokausiannoksen yläraja määritettiin siten, että koehenkilön paino kerrottiin kahdella ja lukema muutettiin grammoiksi (esim. paino 65 kg*2=130 → lihaa enintään 130 g päivässä). Salaatin kanssa neuvottiin käyttämään öljypohjaista salaatikastiketta ja avokadoa kehoitettiin suosimaan riittävän rasvan ja erityisesti hyvien ja välttämättömien rasvahappojen saannin turvaamiseksi. Leivän päällä pyydettiin käyttämään margariinia, jossa oli rasvaa vähintään 60 %. Maitoa ja jogurttia kehoitettiin käyttämään useampi annos päivässä riittävän kalsiumin saannin turvaamiseksi. Ne olivat myös hyviä proteiininlähteitä kasvisjakson aikana.

Työpaikka- ja opiskelijaruokaloissa tuli suosia kasvisvaihtoehtoja (paitsi silloin, kun ne sisälsivät runsaasti juustoa). Suositeltava leipä oli ruisleipä ja vaaleita, etenkin vehnäpohjaisia leipiä ja leivonnaisia tuli välttää. Puuron, murojen ja myslien määrä tuli pitää kohtuullisena eikä niitä tullut nauttia useita kertoja päivässä. Koehenkilöitä pyydettiin huomioimaan, että hedelmiä ja kasviksia joutui syömään määrällisesti enemmän kuin esimerkiksi lihaa tai leipää, joten oli suositeltavaa pitää aina jotain välipalaa mukana.

4.2.2 Harjoittelu

Harjoittelujakso kesti 12 viikkoa. Harjoituksia oli viikoittain kaksi kertaa, jolloin harjoituskertoja kertyi yhteensä 24. Jokainen harjoituskerta sisälsi kestävyys- ja voimaharjoituksen (K+V). Harjoitus alkoi aina kestävyysosion ja jatkui voimaosion. Harjoitusosien välissä oli 10 minuutin tauko, minkä aikana koehenkilö nautti 0,5 l vettä ja 10 g glukoosipastilleja (Oriola Oy). Yhden harjoituksen kokonaiskesto vaihteli 90:stä 120 minuuttiin. Harjoitusten välipäivinä koehenkilöt saivat harrastaa kevyttä virkistysliikuntaa oman mielenkiintonsa mukaan.

Harjoittelu ohjelmoitiin nousujohteiseksi. Koko 12 viikon harjoittelujakso oli jaettu viiteen 1–4 viikon jaksoon, joiden aikana harjoitusohjelma vaihtui. Taulukossa 2 on esitetty ohjelmoinnin yleisrakenne. Ennen varsinaista harjoittelujaksoa oli ns. perehdyttämisjakso, jolloin opeteltiin eri harjoitteiden tekeminen ja suoritettiin alkutestit.

Kaikki harjoitukset tehtiin sykeohjatusti eri intensiteeteillä aiemmin maksimaalisessa hapenottokyvyn testin perusteella määritettyjen kynnyssykkeiden mukaisesti. Sykettä mitattiin sykemittarilla (Polar 610i tai tutkittavan henkilökohtainen) ja lukema kirjattiin ylös harjoitustehon vaihtuessa tai 10 min välein. Voimaharjoitusten kuormat perustuivat aiemmin perehdytysjaksolla määritettyihin ykköstoistomaksimeihin. Myös harjoituksen voimaosiossa käytetyt kuormat ja suoritettavat toistot kirjattiin ylös jokaisesta sarjasta. Kaikki harjoitukset olivat ohjattuja ja kontrolloituja.

Taulukko 2. Harjoittelun yleisrakenne. PK = Peruskestävyys, VK = Vauhtikestävyys, MK = Maksimikestävyys.

Viikot	Kestävyysharjoitus		Voimaharjoitus		Intensiteetti %
	Kesto (min)	Intensiteetti	Kesto (min)	Harjoitteet (lkm)	
1	30	PK	50	7 lihaskest.	40–60
2–4	30	PK	50	7 lihaskest.	40–60
5–8	30	PK	60	7 hypertrofia	70–85
9–10	30–45	PK, VK, MK	70	7 hypertrofia, maksimivoim.	75–90
11–12	45–50	PK, VK, MK	50	6 maksimivoima	90–95
Viimeiset kaksi harjoitusta ennen lopputestejä olivat intensiteetiltään kevennettyjä					

4.3 Aineiston keräys ja analysointi

Maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}). Maksimaalinen hapenottokyky mitattiin tutkimuksessa polkupyöraergometrillä suoritettavalla suoralla maksimaalisen hapenottokyvyn testillä. Testi poljettiin Ergoline Ergometrics 800 polkupyöraergometrillä ja hengityskaasuja mitattiin Oxygon Pro (Jaeger, VIASYS Healthcare GmbH) hengityskaasuanalysaattorilla. Testin aikana mitattiin myös sykettä (Polar S610i, Polar Electro) ja laktaattia (Biosen C-line, EKF Diagnostic) sekä kyseltiin tutkittavan kuormittuneisuudesta (RPE, Rate of Perceived Exertion).

Kun polkupyöraergometri oli säädetty tutkittavalle sopivaksi ja muut alkuvalmistelut (painon ja pituuden mittaaminen, maskin asennus ja koehenkilön ohjeistaminen) tehty, otettiin koehenkilöltä sormenpääverenäyte lepolaktaatin määrittämistä varten. Tämän jälkeen aloitettiin testi ilman varsinaista lämmittelyä. Ensimmäinen kuorma oli 50 W ja sitä lisättiin 25 W kahden (2) minuutin välein. Testi jatkui uupumukseen asti tai kunnes koehenkilö halusi lopettaa. Jokaisen kuorman loppupuolella koehenkilöltä kysyttiin

henkilökohtaista arviota kuormittuneisuudesta (RPE). Syke mitattiin jokaisen kuorman 15 viimeisen sekunnin keskiarvona ja laktaatti mitattiin sormenpästä otetusta verinäytteestä kuorman lopussa.

Hengityskaasumittausten ja laktaattiarvojen perusteella määritettiin tutkittavan maksimaalinen hapenottokyky, maksimaalinen (pyöräily)teho ja aerobinen sekä anaerobinen kynnys. Maksimaalinen hapenottokyky määritettiin siten, että se oli suurin 30 sekunnin keskiarvoistamalla saavutettu hapenottokyvyn (VO_2) arvo. Maksimaalinen teho (W) laskettiin viimeisen loppuun asti poljetun kuorman ja seuraavaa kuormaa poljetun ajan painotettuna keskiarvona (viimeisen loppuun asti poljetun kuorman teho + viimeistä kuormaa poljettu aika (min) / 2 min x 25 W).

Aerobinen ja anaerobinen kynnys määritettiin Kuntotestauksen käsikirjan (Keskinen, Häkkinen ja Kallinen, 2007) ohjeiden mukaan. Aerobisen kynnyksen määrittämiseen käytettiin laktaatin ensimmäistä (perustasosta nousevaa) nousukohtaa, ventilaation ensimmäistä lineaarisuudesta poikkeavaa muutoskohtaa suhteessa hapenkulutukseen, ventilaatioekvivalentin (V_E/VO_2) alinta kohtaa ja true O_2 :n korkeinta kohtaa. Anaerobinen kynnys määritettiin puolestaan laktaattipitoisuuden jyrkemmän nousukohtaan, ventilaation hiilidioksidin tuottoon suhteutetun käyrän lineaarisuudesta poikkeavan jyrkän muutoskohdan ja ventilaatioekvivalenttien (V_E/VO_2 ja V_E/VCO_2) jyrkkien muutoskohtien avulla. Määritettyjä kynnyksiä käytettiin harjoittelun ohjeistamiseen ja harjoitusvaikutusten seuraamiseen.

Voimamittaukset. Isometrinen maksimivoima mitattiin yhden toiston maksimina (1RM) jalkaprässissä sekä istuen tehdyssä pystypunnerruksessa. Dynaaminen 1 RM määritettiin jalkaprässissä.

Isometrinen pystypunnerrus. Koehenkilö istui tuolilla voimalevyn (Jyväskylän yliopisto, liikuntabiologian laitos) päällä jalat ojennettuina pitäen tangosta kiinni siten, että sekä kyynär- että olkakulma olivat 90 astetta. Oikean asennon otettuaan koehenkilö työnsi paikalla olevaa tankoa mahdollisimman kovaa ylöspäin. Työnnöstä kohdistui Newtonin kolmannen lain mukaan yhtä suuri voima voimalevyyn kuin mitä koehenkilö kohdisti tankoon. Voimalevyyn kohdistunut voima mitattiin.

Dynaaminen 1 RM jalkaprässissä. Koehenkilö ohjeistettiin istumaan siten, että hänen selkensä oli tukevasti kiinni selkänojassa. Jalkaterät asetettiin levyille siten, että varpaat

eivät ylittäneet levyn yläreunaa. Polvikulman mittaukseen käytetyt anatomiset pisteet olivat trochanter major ja lateral malleolus polvinivelen ollessa mittauksen keskipisteenä. Polvikulman tuli olla < 60 astetta. Oikean asennon saavutettuaan koehenkilö suoritti maksimaalisen konsentrisen jalkojen ojennuksen. Koehenkilö teki niin monta yritystä lisääntyvillä kuormilla, että maksimi löytyi. 1 RM oli siis suurimmalla painolla tehty onnistunut suoritus. Mittaus suoritettiin David-merkkisellä jalkaprässillä (David 210, David Health Solutions Ltd., Helsinki, Finland).

Isometrinen jalkaprässi. Koehenkilö ohjeistettiin istumaan siten, että hänen selkänsä oli tukevasti kiinni selkänojassa. Jalkaterät asetettiin levylle siten, että varpaat eivät ylittäneet levyn yläreunaa. Polvikulmaksi asetettiin 107 astetta. Anatomiset pisteet polvikulman mittaamiseen olivat trochanter major ja lateral malleolus polvinivelen ollessa mittauksen keskipisteenä. Nivelkulman mittaamisen helpottamiseksi koehenkilöä ohjeistettiin painamaan jalkojaan kevyesti levyä vasten. Näin saatiin varmistettua, ettei nivelkulma muuttuisi maksimaalisessa lihassupistuksessa. Oikean asennon saavutettuaan koehenkilö ojensi jalkojaan mahdollisimman kovaa levyä vasten, joka mittasi koehenkilön tuottamaa voimaa. Mittaus suoritettiin Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen jalkaprässillä.

Veri- ja virtsa-analyysit. Veren pH, bikarbonaattipitoisuus ja laktaatti määritettiin lepotilanteessa ennen submaksimaalista kestävyystestiä sormenpääverinäytteestä, joka otettiin Li-heparinisoituihin kapillaareihin ($200 \mu\text{l}$), ja analysoitiin välittömästi näytteen keruun jälkeen Nova Biomedical STAT Profile pHOX Plus L -verikaasuanalyysaattorilla (Nova Biomedical, Waltham, MA, USA). Veren pH:n analysointi tehtiin ioni selektiivisen elektrodi periaatteen mukaisesti ja analysaattorin valmistajan pH:lle määrittämä korrelaatiokerroin on $0,998$, keskihajonta ajon sisällä (within-run) $0,005$ (variaatiokerroin CV $3,0 \%$) ja keski-hajonta päivästä toiseen (day-to-day) $0,013$ (CV $5,0 \%$). Bikarbonaattipitoisuus määritettiin laskennallisesti tietokoneen avulla (Nova STAT Profile pHOX Plus L Reference Manual 2001). Paastovirtsanäytteet (12 h) kerättiin interventiota ennen ja sen jälkeen virtsan pH:n selvittämiseksi. Virtsanäytteen pH ja tilavuus määritettiin kastamalla näytteeseen pH-liuska (Combur7 Test urinalysis test strips, Cobas, Roche, Germany). Laktaatin analysointiin käytettiin sekä entsymaattista että amperometrasta menetelmää ja laktaatile määritetty keskihajonta ajon sisällä on $0,3 \text{ mmol/l}$ (CV $3,0 \%$) ja päivästä toiseen $0,3 \text{ mmol/l}$ (CV $6,0 \%$).

4.4 Tilastolliset menetelmät

Tuloksista laskettiin keskiarvot \pm keskihajonnat. Tutkimuksessa esitetyt kuviot on tehty Microsoft Excel 2010-ohjelmalla. Ryhmien sisällä ja sukupuolen sisällä tapahtuneita muutoksia on vertailtu parittaisella t-testillä. Tilastollisesti merkittäväksi p-arvoksi asetettiin $p < 0.05$. Kaikki tilastolliset analyysit tehtiin SPSS 15.0 for Windows-ohjelmalla.

5 TULOKSET

Miesten HAPAN- ja EMÄS -ryhmien täyttämistä ruokapäiväkirjoista lasketut makroravintoaineiden, (proteiini, hiilihydraatti, rasva) energian sekä kasviksien ja hedelmien saanti on esitetty taulukossa 3. Massaan suhteutettu proteiinin saanti oli merkitsevästi suurempaa HAPAN -ryhmällä harjoittelujakson puolivälissä kuin EMÄS -ryhmällä. ($1,4\pm 0,5$ vs $1,0\pm 0,3$, $p<0.05$.) Myös rasvan saanti oli tilastollisesti merkitsevästi suurempaa HAPAN -ryhmällä samassa vaiheessa verrattuna EMÄS -ryhmään suhteutettuna painoon ($1,2\pm 0,4$ vs $0,8\pm 0,3$, $p<0.05$). Kasviksien ja hedelmien saanti oli EMÄS -ryhmässä tilastollisesti merkitsevästi suurempaa sekä harjoittelujakson puolivälissä että harjoittelujakson lopussa sekä absoluuttisesti että painoon suhteutettuna (toinen täyttökohta: 247 ± 250 vs 898 ± 302 , $p<0.001$; $3,5\pm 3,4$ vs $10,6\pm 4,1$, $p<0.001$ ja kolmas täyttökohta: 226 ± 96 vs 803 ± 380 , $p<0.01$; $2,8\pm 1,1$ vs $10,5\pm 5,1$, $p<0.05$)

Taulukko 3. Miesten ruokapäiväkirjoista lasketut keskiarvot \pm keskihajonnat. Arvot on esitettyinä absoluuttisina määrinä (kcal, g) ja suhteutettuna koehenkilöiden massaansa (kcal/kg, g/kg). Täyttöajat 1=ennen harjoittelujaksoa, 2=harjoittelujakson puolivälissä, 3=harjoittelujakson lopussa. Tilastollisesti merkitsevä ero HAPAN- ja EMÄS -ryhmän välillä samassa ruokapäiväkirjan täyttöpisteessä, * $p<0.05$, ** $p<0.01$. *** $p<0.001$.

Mies	HAPAN 1	HAPAN 2	HAPAN 3	EMÄS 1	EMÄS 2	EMÄS 3
Energia (kcal) (kcal/kg)	2223 \pm 603 28,8 \pm 8,0	2207 \pm 647 29,8 \pm 8,5	2184 \pm 686 27,8 \pm 8,4	2724 \pm 840 32,1 \pm 11,0	1930 \pm 571 23,1 \pm 8,7	1930 \pm 520 24,6 \pm 7,4
Hiilihydraatti (g) (g/kg)	227 \pm 67 2,9 \pm 0,9	237 \pm 72 3,2 \pm 0,9	246 \pm 80 3,1 \pm 0,9	286 \pm 107 3,4 \pm 1,5	190 \pm 80 2,2 \pm 1,0	208 \pm 124 2,5 \pm 1,7
Proteiini (g) (g/kg)	102 \pm 35 1,3 \pm 0,5	107 \pm 35 1,4 \pm 0,5	110 \pm 30 1,4 \pm 0,4	131 \pm 62 1,5 \pm 0,7	82 \pm 25 1,0 \pm 0,3*	91 \pm 15 1,1 \pm 0,2
Rasva (g) (g/kg)	92 \pm 31 1,2 \pm 0,4	87 \pm 33 1,2 \pm 0,4	73 \pm 30 0,9 \pm 0,4	104 \pm 32 1,2 \pm 0,4	66 \pm 21 0,8 \pm 0,3*	60 \pm 20 0,8 \pm 0,3
Kasvikset ja hedelmät (g) (g/kg)	287 \pm 243 3,9 \pm 3,4	247 \pm 250 3,5 \pm 3,4	226 \pm 96 2,8 \pm 1,1	280 \pm 144 3,3 \pm 1,8	898 \pm 302*** 10,6 \pm 4,1***	803 \pm 380** 10,5 \pm 5,1*

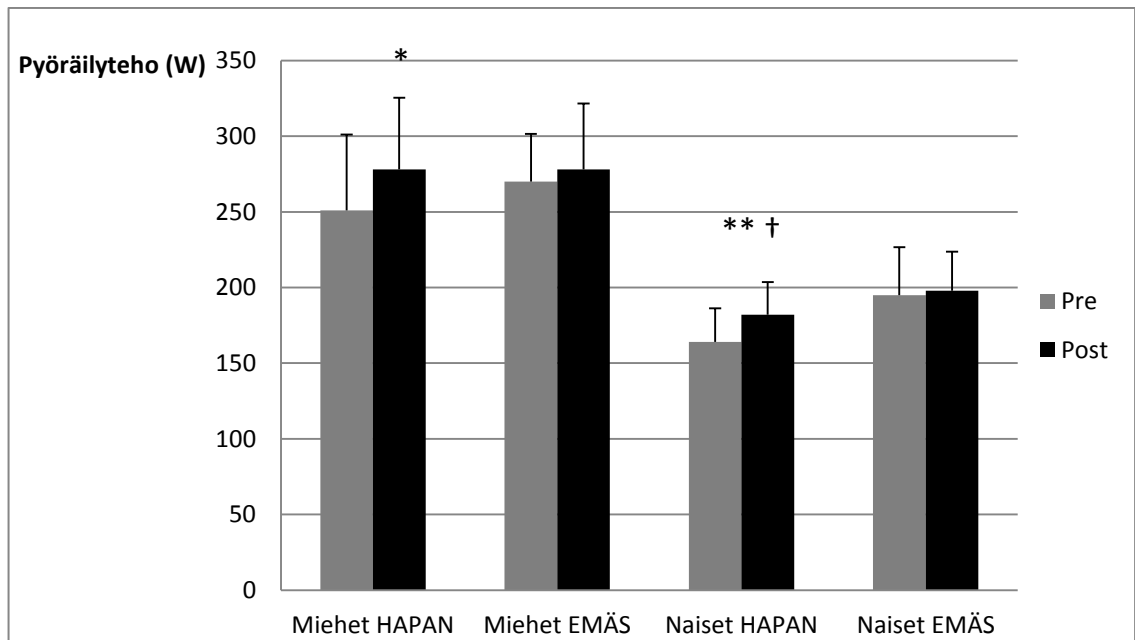
Naisten HAPAN- ja EMÄS- ryhmien täyttämistä ruokapäiväkirjoista lasketut makroravintoaineiden, (proteiini, hiilihydraatti, rasva) energian sekä kasvien ja hedelmien saanti on esitetty taulukossa 4. Kasviksien ja hedelmien saannissa oli tilastollisesti merkittävä ero HAPAN- ja EMÄS -ryhmän välillä jokaisessa ruokapäiväkirjan täyttökohdassa sekä absoluuttisesti että massaansa suhteutettuna (((ensimmäinen täyttökohta: 249 \pm 75 vs 396 \pm 203, $p<0.05$; 4,1 \pm 1,4 vs 6,5 \pm 3,6, $p<0.05$)(toinen täyttökohta: 209 \pm 159 vs 927 \pm 307, $p<0.001$; 3,1 \pm 2,5 vs 14,6 \pm 5,3, $p<0.001$ $p<0.001$)(kolmas täyttökohta: 264 \pm 273 vs 1066 \pm 634, $p<0.001$; 4,2 \pm 4,4 vs 18,0 \pm 10,8))).

Taulukko 4. Naisten ruokapäiväkirjoista lasketut keskiarvot \pm keskihajonnat. Arvot on esitettyinä absoluuttisina määrinä (kcal, g) ja suhteutettuna koehenkilöiden massaansa (kcal/kg, g/kg). Täyttöajat 1=ennen harjoittelujaksoa, 2=harjoittelujakson puolivälissä, 3=harjoittelujakson lopussa. Tilastollisesti merkitsevä ero HAPAN- ja EMÄS -ryhmän välillä samassa ruokapäiväkirjan täyttöpisteessä, * $p<0.05$, *** $p<0.001$.

Nainen	HAPAN 1	HAPAN 2	HAPAN 3	EMÄS 1	EMÄS 2	EMÄS 3
Energia (kcal) (kcal/kg)	1905 \pm 297 30,0 \pm 5,9	1959 \pm 610 31,9 \pm 12,3	1870 \pm 342 27,6 \pm 5,8	2007 \pm 378 32,1 \pm 6,7	1880 \pm 365 29,4 \pm 7,1	1856 \pm 500 29,6 \pm 10,1
Hiilihydraatti (g) (g/kg)	233 \pm 44 3,6 \pm 0,7	233 \pm 79 3,8 \pm 1,6	215 \pm 48 3,2 \pm 0,8	223 \pm 56 3,6 \pm 0,9	230 \pm 41 3,6 \pm 0,8	238 \pm 67 3,8 \pm 1,3
Proteiini (g) (g/kg)	74 \pm 12 1,2 \pm 0,2	84 \pm 25 1,4 \pm 0,5	78 \pm 16 1,1 \pm 0,2	83 \pm 27 1,3 \pm 0,5	70 \pm 11 1,1 \pm 0,2	69 \pm 11 1,1 \pm 0,3
Rasva (g) (g/kg)	68 \pm 20 1,1 \pm 0,4	72 \pm 28 1,2 \pm 0,5	70 \pm 23 1,0 \pm 0,4	80 \pm 19 1,3 \pm 0,3	71 \pm 26 1,1 \pm 0,4	66 \pm 46 1,0 \pm 0,8
Kasvikset ja hedelmät (g) (g/kg)	249 \pm 75 4,1 \pm 1,4	209 \pm 159 3,1 \pm 2,5	264 \pm 273 4,2 \pm 4,4	396 \pm 203* 6,5 \pm 3,6*	927 \pm 307*** 14,6 \pm 5,3***	1066 \pm 634*** 18,0 \pm 10,8***

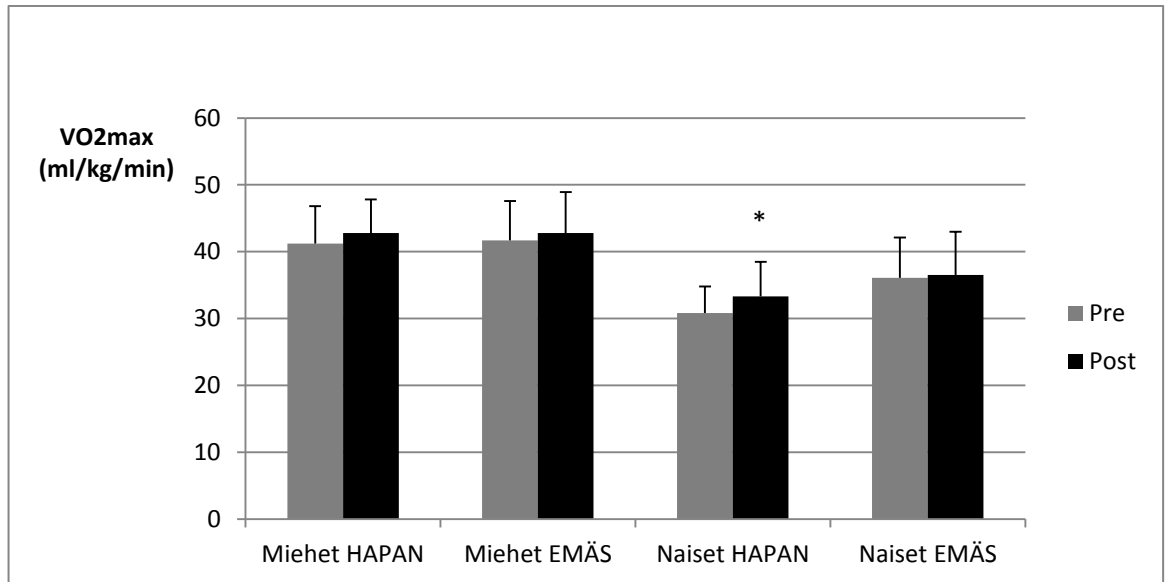
5.1 Kestävyysominaisuudet

Maksimaalinen pyöräilyteho. Taulukossa 5 on esitetty maksimaalinen pyöräilyteho (W) miehille ja taulukossa 6 naisille ennen (pre) ja jälkeen harjoittelua (post). Kuviossa 2 on esitetty maksimaalinen pyöräilyteho kaikille neljälle ryhmälle. Jokaisessa ryhmässä tapahtui kehitystä. Tilastollisesti merkitsevä parannus oli kuitenkin vain miesten (251 \pm 50,1 vs 278 \pm 47,5, $p<0.05$) ja naisten HAPAN -ryhmällä (164 \pm 22,2 vs 182 \pm 21,6, $p<0.01$). Naisilla oli pre-mittauksessa tilastollinen ero EMÄS- ja HAPAN -ryhmän välillä (kontrolli 164 \pm 22,2 vs kasvis 195 \pm 31,6, $p<0.05$). Naisilla HAPAN -ryhmässä tapahtunut muutos oli merkitsevästi suurempi kuin EMÄS -ryhmässä tapahtunut muutos (ero 19,2 W, $p<0.05$).



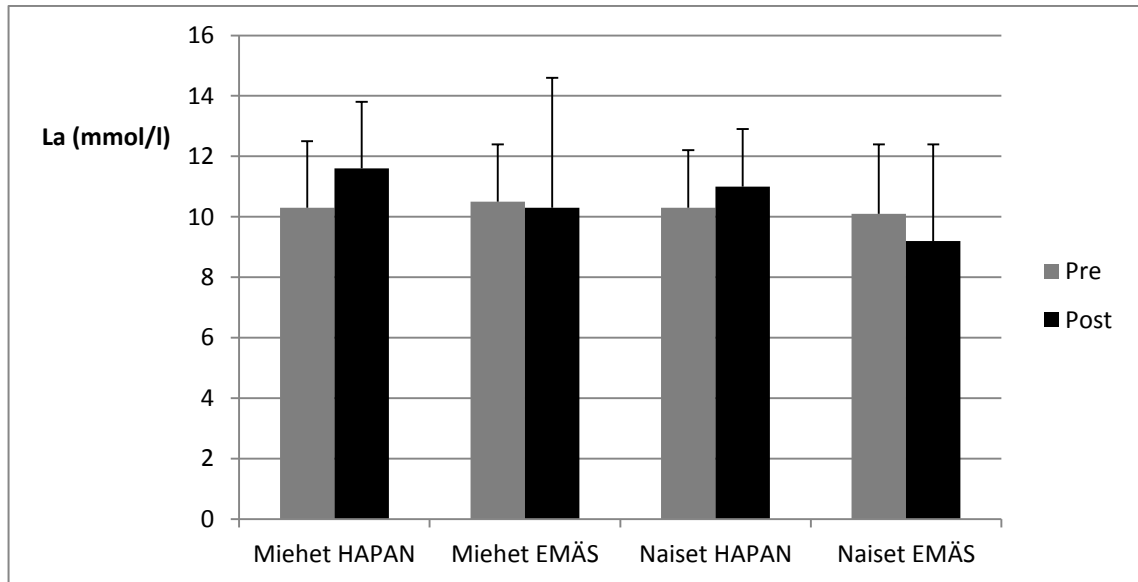
Kuvio 2. Maksimaalinen pyöräilyteho (W) neljälle eri ryhmälle ennen (pre) ja jälkeen harjoittelua (post). *= tilastollisesti merkitsevä parannus ryhmän sisällä pre- ja posttilanteessa $p < 0.05$. **= tilastollisesti merkitsevä parannus ryhmän sisällä pre- ja posttilanteessa $p < 0.01$. †= Kontrolliryhmässä tapahtunut muutos merkitsevästi suurempi kuin EMÄS -ryhmässä tapahtunut muutos $p < 0.05$.

Maksimaalinen hapenottokyky. Taulukossa 5 on esitetty maksimaalinen hapenottokyky (ml/kg/min) miehille ja taulukossa 6 naisille ennen (pre) ja jälkeen (post) interventiota. Kuviossa 3 on esitettynä maksimaalinen hapenottokyky kaikille neljälle ryhmälle interventiota ennen (pre) ja sen jälkeen (post). Jokaisen ryhmän maksimaalinen hapenottokyky parani. Tilastollisesti merkittävä parannus oli kuitenkin vain naisten HAPAN -ryhmässä ($30,8 \pm 4,0$ vs $33,3 \pm 5,2$, $p < 0.05$). Naisilla oli ennen interventiota tilastollisesti merkitsevä ero maksimaalisessa hapenottokyvyssä EMÄS- ja HAPAN -ryhmän välillä (kontrolli $30,8 \pm 4,0$ vs. kasvis $36,1 \pm 6,0$, $p < 0.05$). Saman sukupuolen sisällä muutoksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja EMÄS- ja HAPAN -ryhmien välillä.



Kuvio 3. Maksimaalinen hapenottokyky kaikille neljälle ryhmälle harjoittelua ennen (pre) ja jälkeen (post). * = tilastollisesti merkittävä muutos ryhmän sisällä $p < 0.05$.

Veren maksimaalinen laktaattipitoisuus. Taulukossa 5 on esitetty veren maksimaalinen laktaattipitoisuus maksimaalisen hapenottokyvyn testissä (mmol/l) miehille ja taulukossa 6 naisille ennen (pre) ja jälkeen (post) interventiota. Kuviossa 4 on esitettyä veren maksimaalinen laktaattipitoisuus kaikille neljälle ryhmälle harjoittelua ennen (pre) ja sen jälkeen (post).



Kuvio 4. Veren maksimaalinen laktaattipitoisuus maksimaalisen hapenottokyvyn testissä (mmol/l) jokaiselle neljälle ryhmälle harjoittelua ennen (pre) ja jälkeen (post).

TAULUKKO 5. Maksimaalinen pyöräilyteho (W), VO_{2max} (ml/kg/min) ja veren maksimaalinen laktaattipitoisuus VO_{2max} testissä miehillä. * = tilastollisesti merkittävä muutos ryhmän sisällä $p < 0.05$.

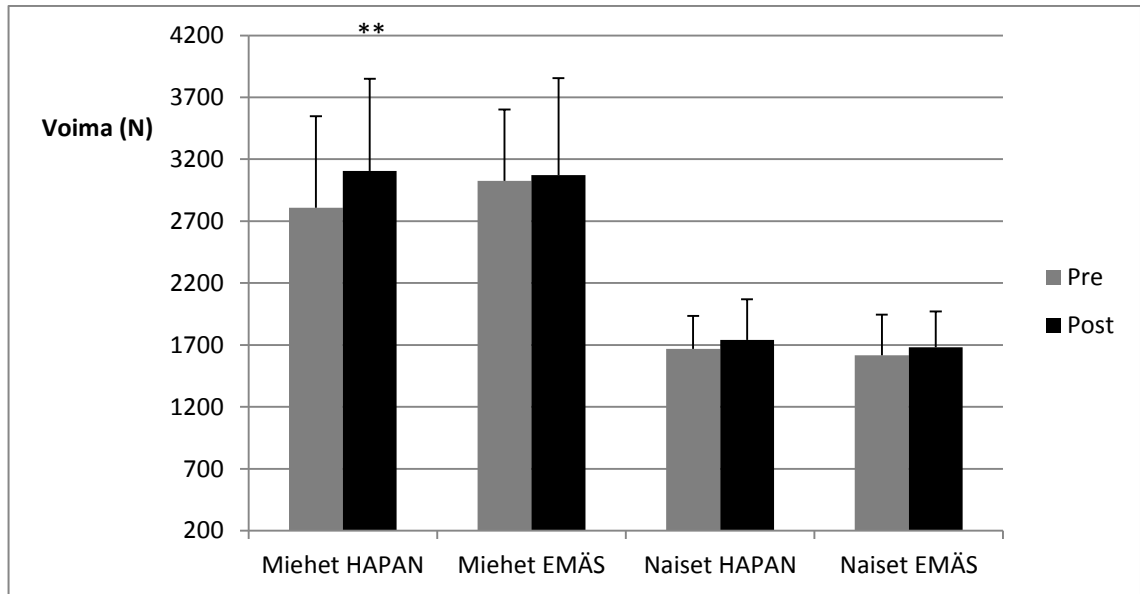
Miehet	HAPAN pre	HAPAN post	EMÄS pre	EMÄS post
Maksimaalinen pyöräilyteho (W)	251 ± 50,1	278 ± 47,5 *	270 ± 31,6	278 ± 43,6
VO₂max (ml/kg/min)	41,2 ± 5,6	42,8 ± 5,0	41,7 ± 5,9	42,8 ± 6,1
Laktaatti (mmol/l)	10,3 ± 2,2	11,6 ± 2,2	10,5 ± 1,9	10,3 ± 4,3

TAULUKKO 6. Maksimaalinen pyöräilyteho (W), VO_{2max} (ml/kg/min) ja veren maksimaalinen laktaattipitoisuus VO_{2max} testissä naisilla. *= tilastollisesti merkitsevä muutos ryhmän sisällä p<0.05. †= HAPAN -ryhmässä tapahtunut muutos merkittävästi suurempi kuin EMÄS -ryhmässä tapahtunut muutos, p<0.05.

Naiset	HAPAN pre	HAPAN post	EMÄS pre	EMÄS post
Maksimaalinen pyöräilyteho (W)	164 ± 22,2	182 ± 21,6 *†	195 ± 31,6	198 ± 25,6
VO_{2max} (ml/kg/min)	30,8 ± 4,0	33,3 ± 5,2 *	36,1 ± 6,0	36,5 ± 6,5
Laktaatti (mmol/l)	10,3 ± 1,9	11,0 ± 1,9	10,1 ± 2,3	9,2 ± 3,2

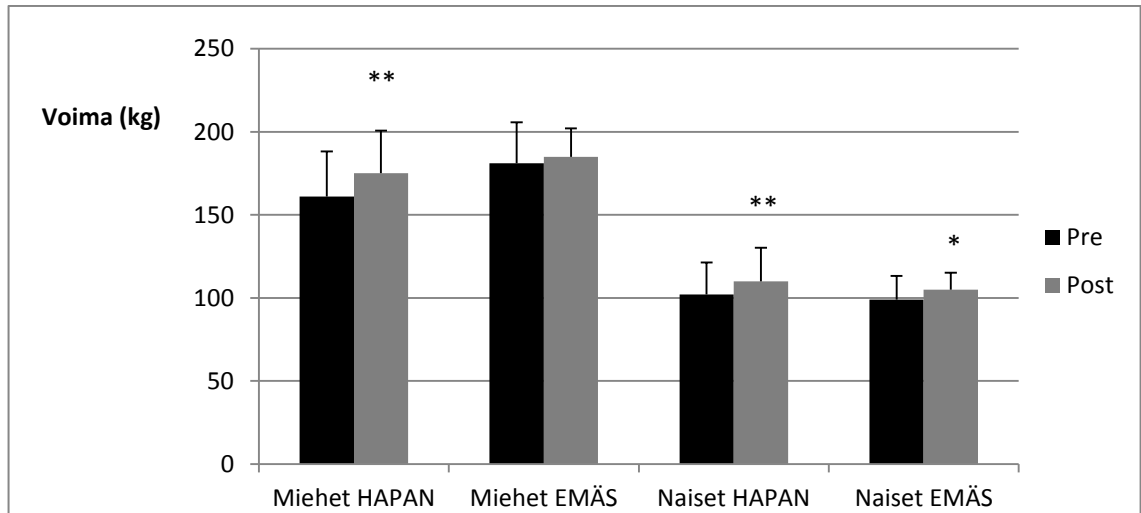
5.2 Voimaominaisuudet

Isometrinen jalkaprässi. Taulukossa 7 on esitetty maksimivoima isometrisessä jalkaprässissä miehille ja taulukossa 8 naisille harjoittelua ennen (pre) ja sen jälkeen (post). Kuviossa 5 on esitettyä maksimivoima isometrisessä jalkaprässissä kaikille neljälle ryhmälle harjoittelua ennen (pre) ja sen jälkeen (post). Jokaisen ryhmän maksimivoima isometrisessä jalkaprässissä parani harjoittelun aikana. Kuitenkin ainoa tilastollisesti merkitsevä parannus oli miesten HAPAN -ryhmässä (2807 ± 741 vs 3106 ± 744, p<0.01).



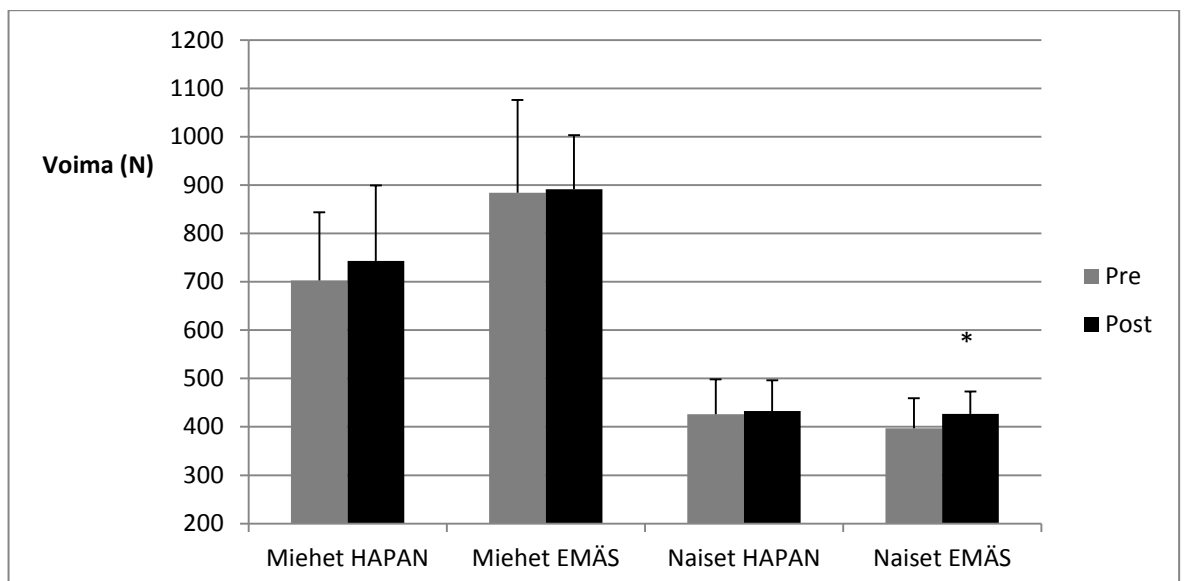
Kuvio 5. Maksimivoima isometrisessä jalkaprässissä kaikille neljälle ryhmälle harjoittelua ennen (pre) ja sen jälkeen (post). ** = tilastollisesti merkitsevä muutos ryhmän sisällä $p < 0.01$.

Dynaaminen 1 RM jalkaprässi. Taulukossa 7 on esitetty 1 RM dynaamisessa jalkaprässissä miehille ja taulukossa 8 naisille harjoittelua ennen (pre) ja sen jälkeen (post). Kuviossa 8 on esitettyä 1 RM dynaamisessa jalkaprässissä kaikille neljälle ryhmälle harjoittelua ennen (pre) ja sen jälkeen (post). Jokaisessa ryhmässä 1 RM dynaamisessa jalkaprässissä kehittyi harjoittelun aikana. Tilastollisesti merkitsevät parannukset olivat miesten ($161 \pm 27,2$ vs $175 \pm 25,8$, $p < 0.01$) ja naisten HAPAN -ryhmässä ($102 \pm 19,4$ vs $110 \pm 20,1$, $p < 0.01$) sekä naisten EMÄS -ryhmässä ($99 \pm 14,2$ vs $105 \pm 10,1$, $p < 0.05$). Saman sukupuolen sisällä tapahtuneissa muutoksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja EMÄS- ja HAPAN -ryhmien välillä.



Kuvio 6. 1 RM dynaamisessa jalkaprässissä kaikille neljälle ryhmälle harjoittelua ennen ja sen jälkeen. * = tilastollisesti merkitsevä muutos ryhmän sisällä $p < 0.05$. ** = tilastollisesti merkitsevä muutos ryhmän sisällä muutos $p < 0.01$.

Isometrinen pystypunnerrus istuen. Taulukossa 7 on esitetty maksimivoima isometrisessä pystypunnerruksessa istuen miehille ja taulukossa 8 naisille harjoittelua ennen (pre) ja sen jälkeen (post). Kuviossa 7 on esitettyä maksimivoima isometrisessä pystypunnerruksessa istuen kaikille neljälle ryhmälle harjoittelua ennen (pre) ja sen jälkeen (post). Jokaisella ryhmällä maksimivoima isometrisessä pystypunnerruksessa oli suurempi harjoittelun jälkeen kuin ennen sitä. Tilastollisesti merkitsevä parannus oli kuitenkin ainoastaan naisten EMÄS -ryhmässä (398 ± 62 vs. 427 ± 46 , $p < 0.05$).



Kuvio 7. Maksimivoima isometrisessä pystypunnerruksessa istuen kaikille neljälle ryhmälle harjoittelua ennen (pre) ja sen jälkeen (post). * = tilastollisesti merkitsevä muutos ryhmän sisällä muutos $p < 0.05$.

TAULUKKO 7. Isometrinen jalkaprässi (N) sekä pystypunnerrus istuen (N) miehillä. ** = tilastollisesti merkitsevä muutos ryhmän sisällä muutos $p < 0.01$.

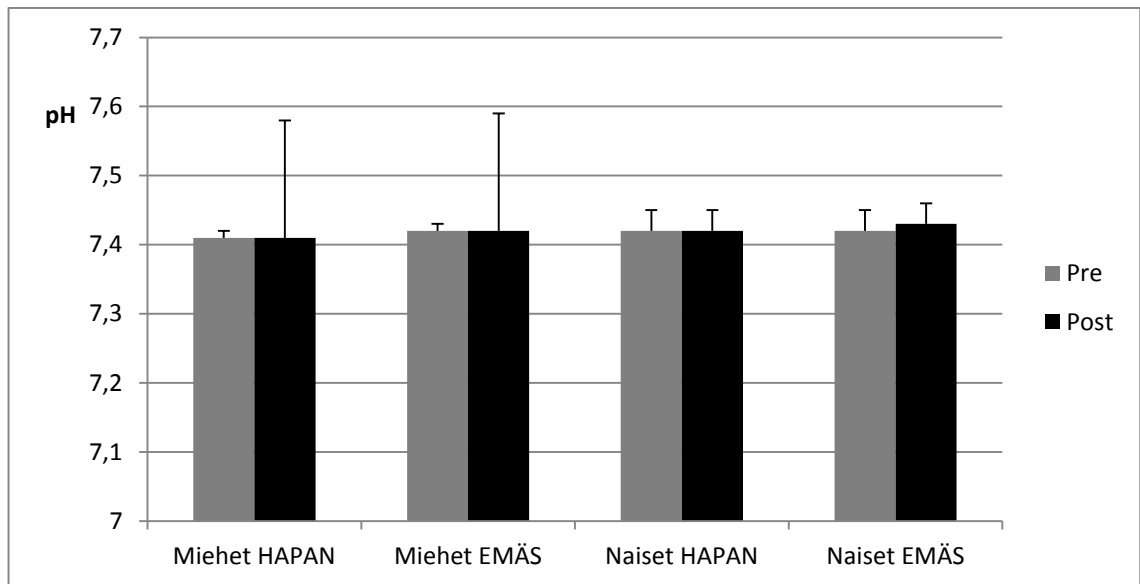
Miehet	HAPAN pre	HAPAN post	EMÄS pre	EMÄS post
Isometrinen jalkaprässi (N)	2807 ± 741	3106 ± 744 **	3026 ± 576	3073 ± 783
Isometrinen pystypunnerrus (N)	703 ± 141	743 ± 156	884 ± 192	891 ± 112
Dynaaminen 1 RM jalkaprässi (kg)	161 ± 27,2	175 ± 25,8 **	181 ± 24,7	185 ± 17,1

TAULUKKO 8. Isometrinen jalkaprässi (N) sekä pystypunnerrus istuen (N) naisilla. ** = tilastollisesti merkitsevä muutos ryhmän sisällä muutos $p < 0.01$. * = tilastollisesti merkitsevä muutos ryhmän sisällä muutos $p < 0.01$.

Naiset	HAPAN pre	HAPAN post	EMÄS pre	EMÄS post
Isometrinen jalkaprässi (N)	1667 ± 267	1741 ± 328 **	1617 ± 329	1683 ± 288
Isometrinen pystypunnerrus (N)	426 ± 72	433 ± 63	398 ± 62	427 ± 46 *
Dynaaminen 1 RM jalkaprässi	102 ± 19	110 ± 20 **	99 ± 14	105 ± 10 *

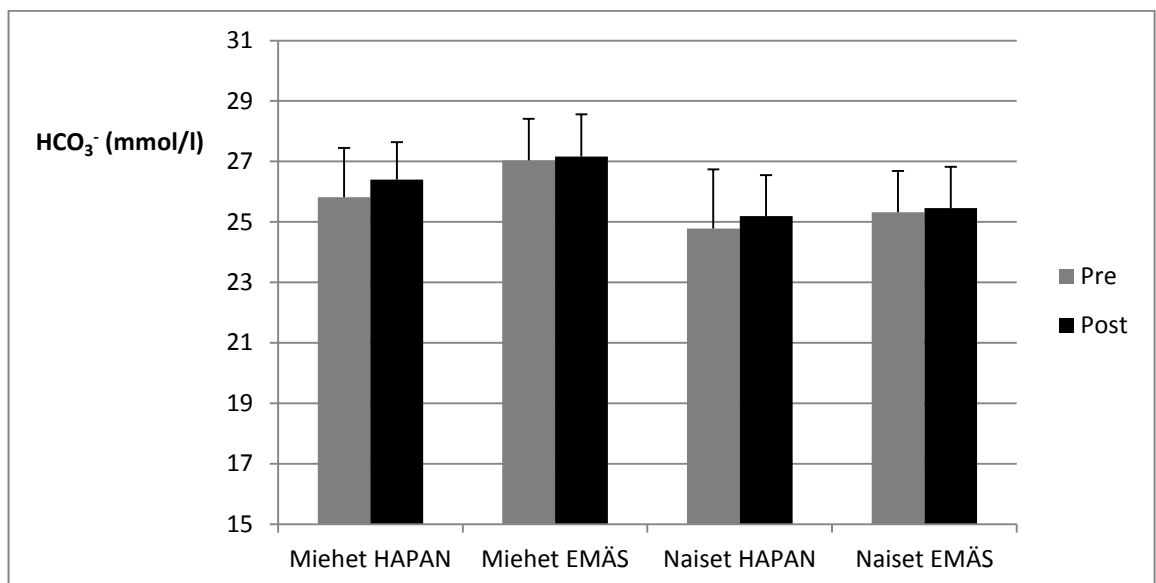
5.3 Happo-emästatapaino

Veren pH lepotilanteessa. Taulukossa 9 on esitetty veren pH levossa miehille ja taulukossa 10 naisille ennen (pre) ja jälkeen (post) harjoittelun. Kuviossa 7 on esitettyä veren pH levossa kaikille neljälle ryhmälle harjoittelua ennen (pre) ja sen jälkeen (post). Levossa mitatuissa veren pH-arvoissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä muutoksia missään ryhmässä pre- ja postmittauksissa. Lisäksi saman sukupuolen sisällä tapahtuneissa muutoksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja EMÄS- ja HAPAN -ryhmien välillä.



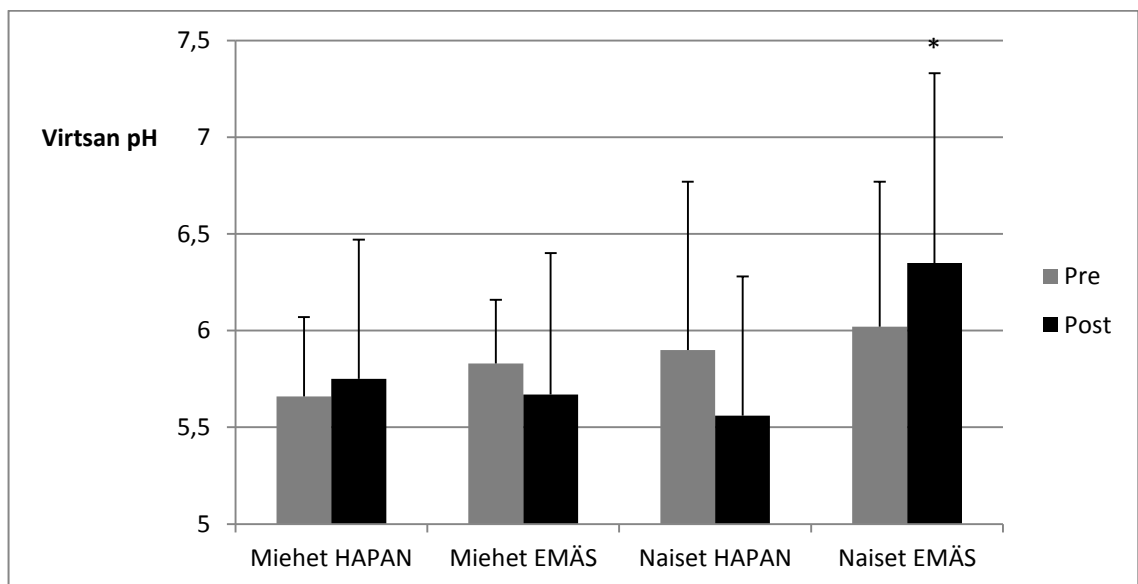
Kuvio 7. Veren pH lepotilanteessa kaikilla neljällä ryhmällä ennen (pre) ja jälkeen (post) harjoittelujakson.

Veren bikarbonaattipitoisuus lepotilanteessa. Taulukossa 9 on esitetty veren bikarbonaattipitoisuus lepotilanteessa miehille ja taulukossa 10 naisille ennen (pre) ja jälkeen (post) harjoittelua. Kuviossa 8 on esitettyä veren bikarbonaattipitoisuus lepotilanteessa kaikille neljälle ryhmälle harjoittelua ennen (pre) ja sen jälkeen (post).



Kuvio 8. Levossa mitatut veren bikarbonaattipitoisuudet kaikille neljälle eri ryhmälle ennen (pre) ja jälkeen (post) harjoittelujakson.

Virtsan pH lepotilanteessa. Taulukossa 9 on esitetty virtsan pH lepotilanteessa miehille ja taulukossa 10 naisille harjoittelua ennen (pre) ja sen jälkeen (post). Kuviossa 9 on esitetty virtsan pH kaikille neljälle ryhmälle harjoittelua ennen (pre) ja sen jälkeen (post). Naisten EMÄS -ryhmän lepotilanteen virtsan pH oli korkeampi harjoittelun jälkeen kuin ennen sitä ja vastaavasti naisten HAPAN -ryhmällä pH laski harjoittelun jälkeen, mutta ryhmien muutokset eivät olleet kuitenkaan merkitseviä. Naisilla oli tilastollisesti merkitsevä ero virtsan pH:ssa post-mittauksessa EMÄS- ja HAPAN -ryhmien välillä ($5,56 \pm 0,72$ vs $6,35 \pm 0,98$, $p < 0,05$).



Kuvio 9. Lepotilanteessa mitattu virtsan pH kaikille neljälle ryhmälle ennen (pre) ja sen jälkeen (post) harjoittelujakson. * Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä, $p < 0,05$.

TAULUKKO 9. Levossa mitatut virtsan ja veren pH sekä veren bikarbonaattipitoisuus (HCO_3^-) ennen (pre) ja jälkeen (post) harjoittelujakson miehillä.

Miehet	HAPAN pre	HAPAN post	EMÄS pre	EMÄS post
Veren pH	$7,41 \pm 0,01$	$7,41 \pm 0,17$	$7,42 \pm 0,01$	$7,42 \pm 0,17$
Veren HCO_3^- (mmol/l)	$25,82 \pm 1,63$	$26,40 \pm 1,24$	$27,04 \pm 1,37$	$27,16 \pm 1,40$
Virtsan pH	$5,66 \pm 0,41$	$5,75 \pm 0,72$	$5,83 \pm 0,33$	$5,67 \pm 0,73$

TAULUKKO 10. Levossa mitatut virtsan ja veren pH sekä veren bikarbonaattipitoisuus (HCO_3^-) ennen (pre) ja jälkeen (post) harjoittelujakson naisilla. * tilastollisesti merkitsevä ero HAPAN- ja EMÄS -ryhmän välillä.

Naiset	HAPAN pre	HAPAN post	EMÄS pre	EMÄS post
Veren pH	7,42 ± 0,03	7,42 ± 0,03	7,42 ± 0,03	7,43 ± 0,03
Veren HCO_3^- (mmol/l)	24,8 ± 1,96	25,46 ± 1,36	25,32 ± 1,37	25,46 ± 1,36
Virtsan pH	5,90 ± 0,87	5,56 ± 0,72	6,02 ± 0,75	6,35 ± 0,98*

6 POHDINTA

Päätulokset. Tutkimuksen päätuloksena oli, että emästä tuottava kasvis- ja hedelmäpainotteinen (noin 800 - 1000 g/päivä), normaalisti proteiinia sisältävä ruokavalio ei parantanut voima- ja kestävyysominaisuuksia verrattuna happamuutta tuottavaan, vähän kasviksia ja normaalisti proteiinia sisältävään ruokavalioon 12 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelujakson aikana. Lisäksi tuloksissa kävi ilmi, että EMÄS- ryhmän ruokavaliolla ei saatu muutettua veren pH:ta emäksisempään suuntaan lepotilanteessa verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon. Sen sijaan naisten EMÄS -ryhmällä virtsan pH nousi harjoittelujakson aikana ollen korkeampi kuin HAPAN -ryhmällä. Joitakin muutoksia tapahtui voima- ja kestävyysominaisuuksissa HAPAN- ja EMÄS- ryhmissä. Maksimaalinen hapenotto kyky parani merkitsevästi ainoastaan naisten HAPAN -ryhmällä. Isometrisen jalkaprässin maksimivoimassa ainut tilastollisesti merkitsevä kehitys oli miesten HAPAN -ryhmässä. Dynaamisessa jalkaprässissä yhden toiston maksimissa tilastollisesti merkitsevät parannukset olivat miesten ja naisten HAPAN -ryhmässä sekä naisten EMÄS -ryhmässä. Istuen tehdyn isometrisen pystypunnerruksen ainut tilastollisesti merkittävä muutos oli naisten EMÄS -ryhmässä. Lisäksi saman sukupuolen sisällä vertailtaessa, ainoastaan naisten HAPAN -ryhmässä tapahtunut muutos maksimaalisessa pyöräilytehossa oli merkitsevä EMÄS -ryhmän muutokseen verrattuna.

Ravinto. Miesten EMÄS- ryhmällä kasvien ja hedelmien saanti oli ruokapäiväkirjojen perusteella merkitsevästi suurempaa toisessa ja kolmannessa täyttökohdassa absoluuttisesti sekä kehonmassaan suhteutettuna HAPAN- ryhmään verrattuna. Lisäksi miesten EMÄS- ryhmän rasvan ja proteiinin saanti oli merkitsevästi vähäisempää kehon massaan suhteutettuna toisessa ruokapäiväkirjan täyttökohdassa HAPAN- ryhmään verrattuna. Rasvan ja proteiinin vähäisempi saanti johtunee siitä, että suuri osa EMÄS-ryhmän ruokavaliosta koostui kasviksista ja hedelmistä, jotka sisältävät vain vähän proteiinia ja rasvaa. Miesten EMÄS- ryhmän energian ja makroravintoaineiden saanti oli tutkimusintervention aikana vähäisempää kuin ”normaalitilanteessa” (EMÄS-ryhmän ensimmäinen ruokapäiväkirjan täyttökohta vs. toinen ja kolmas täyttökohta). Tästä voisi päätellä, että miesten EMÄS- ryhmän oli ehkä vaikea saada kasvis- ja

hedelmäpainotteisella ruokavaliolla yhtä paljon energiaa ja makroravintoaineita normaalitilanteen ruokavaliioon verrattuna. Energian ja makroravintoaineiden saannissa olisi päästy mahdollisesti lähemmäs normaalia tilannetta, mikäli miesten EMÄS- ryhmä olisi päässyt hedelmien ja kasvien syönnissä heille ohjeistettuun määrään (noin 1500 g/päivä). Naisilla EMÄS- ryhmän kasvien ja hedelmien saanti oli harjoittelujakson aikana merkitsevästi suurempaa kuin HAPAN- ryhmällä. Naisilla ei ollut merkitseviä eroja makroravintoaineiden saannissa HAPAN- ja EMÄS- ryhmän välillä. Täten voidaan olettaa, että naisten EMÄS- ryhmän oli helpompi saada kasvis- ja hedelmäpainotteisella ruokavaliolla yhtä paljon makroravintoaineita kuin HAPAN- ryhmän. Naisten EMÄS- ryhmäkään ei päässyt tavoiteltuun hedelmien ja kasvien saannin määrään (noin 1500 g/päivä). Ruokapäiväkirjoista huomataan, että sekä miesten että naisten HAPAN- ryhmällä kasvien ja hedelmien saanti ylitti annetun ohjeiston 100–120 g/päivä jokaisessa ruokapäiväkirjan täyttökohdassa. Täten voidaan todeta, että mikään ryhmä ei noudattanut täysin ohjeiden mukaisesti ruokavaliotaan ruokapäiväkirjojen perusteella. Erityisesti miesten EMÄS -ryhmän olisi täytynyt päästä lähelle 1500 g/päivä kasvien ja hedelmien saannissa, koska heidän kehon massansa on keskimäärin suurempi kuin naisten.

Kestävyysuorituskyky. Jokainen ryhmä paransi odotetusti hieman sekä maksimaalista hapenottookykyään että maksimaalista pyöräilytehoaan. Kuitenkin tilastollisesti merkittävät parannukset olivat ainoastaan sekä miesten että naisten HAPAN -ryhmän maksimaalisessa pyöräilytehossa ja naisten HAPAN -ryhmän maksimaalisessa hapenottokyvyssä. Veren maksimaalisessa laktaattipitoisuudessa ei ollut tilastollisesti merkittäviä muutoksia missään ryhmässä pre- ja postmittausten välillä. Sekä miesten että naisten HAPAN -ryhmällä kuitenkin oli suuntaa antavaa se, että veren maksimaalinen laktaattipitoisuus oli korkeampi postmittauksessa kuin premittauksessa. Miesten ja naisten EMÄS -ryhmillä oli puolestaan suunta matalampaan veren maksimaaliseen laktaattipitoisuuteen postmittauksessa verrattuna premittaukseen.

Kestävyysominaisuuksien tulkinnassa täytyy ottaa huomioon, että sekä miesten että naisten HAPAN -ryhmät olivat jo alkutilanteessa heikompia verrattuna EMÄS -ryhmiin maksimaalisessa pyöräilytehossa. Miesten alkutilanteen ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä, mutta naisten oli. Lähtötilanteessa miesten maksimaalisessa hapenottookyvyssä ei ollut suurta eroa, kun taas naisilla lähtötilanteessa HAPAN -ryhmä

oli tilastollisesti merkitsevästi huonompi. Lähtötilanteessa oleva ryhmien välinen ero voisi selittää ainakin naisten HAPAN -ryhmän tilastollisesti merkittävän parannuksen sekä maksimaalisessa hapenottokyvyssä että maksimaalisessa pyöräilytehossa. Esimerkiksi Faffin ym. (2002) tekemässä tutkimuksessa kolmen kuukauden harjoittelujakson aikana ainoastaan huonoimmassa kunnossa lähtötilanteessa olleet koehenkilöt paransivat maksimaalista hapenottokykyään. Lisäksi Saltinin ym. (1969) ja Cunninghamin ym. (1987) mukaan huono lähtötason hapenottokyky selittää suuremman hapenottokyvyn kehittymisen huonokuntoisilla verrattuna henkilöihin, joilla on jo lähtötilanteessa hyvä hapenottokyky. Toisaalta eräissä tutkimuksissa ei ole huomattu lähtötilanteen hapenottokyvyn ja harjoittelujakson aikana parantuneen hapenottokyvyn välillä olevan yhteyttä (Skinner ym. 2000; Bouchard ym. 1999; Kohrt ym. 1991; Thomas ym. 1985). Naisilla ryhmien lähtötason eron vaikutusta maksimaalisen pyöräilytehon ja VO₂max:n kehittymiseen puoltaisi se, että ruokapäiväkirjoista analysoiduista energia- ja makroravintoaineiden saannissa ei ollut suuria eroja naisten EMÄS- ja HAPAN -ryhmien välillä.

Miesten HAPAN -ryhmän maksimaalisen pyöräilytehon paranemista selittänee pieni parannus maksimaalisessa hapenottokyvyssä, pieni anaerobisen glykolyysin tehostuminen (korkeampi maksimaalinen veren laktaattipitoisuus post-mittauksessa) sekä parantunut alaraajojen voimantuottokyky. Alaraajojen parantuneella voimantuottokyvyllä on esim. Rønnestadin ym. (2011) mukaan saatu parannettua maksimaalista pyöräilytehoa. Heidän tutkimuksessaan olleet pyöräilijät, jotka paransivat alaraajojen voimantuottokykyään, paransivat myös viiden minuutin maksimaalisen pyöräilytestin keskimääräistä tehoa. Miesten EMÄS -ryhmällä maksimaalisen pyöräilytehon parannus ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Tätä selittänee se, että heillä anaerobinen glykolyysi ei ollut tehostunut, mistä osoituksena on se, että veren maksimaalinen laktaattipitoisuus oli hieman alhaisempi postmittauksessa kuin premittauksessa. Lisäksi miesten EMÄS -ryhmän alaraajojen voimantuottokyvyyssä ei ollut tapahtunut merkittävää parannusta harjoittelujakson aikana. Ruokapäiväkirjojen perusteella miesten EMÄS -ryhmän kokonaisenergiansaanti oli intervention aikana keskimäärin vähäisempää kuin HAPAN -ryhmän. Voi olla, että osalla EMÄS-ryhmän koehenkilöistä energian saanti ei ollut riittävää, jotta merkittäviä harjoitusadaptaatioita olisi syntynyt. Keskimääräinen vähäinen kokonaisenergian saanti EMÄS -ryhmällä saattaa osaltaan selittää sitä, ettei miesten kasvisryhmässä tapahtunut tilastollisesti

merkittävää parannusta maksimaalisessa pyöräilytehossa. Kuitenkaan energiansaannissa ei ollut tilastollisesti merkittävää eroa HAPAN- ja EMÄS- ryhmän välillä johtuen suuresta hajonnasta.

Voimaominaisuudet. Jokaisessa ryhmässä tapahtui hieman odotettua kehitystä harjoittelujakson aikana, mutta miesten HAPAN -ryhmä paransi tilastollisesti merkitsevästi maksimivoimaa isometrisessä jalkaprässissä sekä dynaamisessa yhden toiston maksimissa jalkaprässissä. Edelleen naisissa HAPAN -ryhmä paransi tilastollisesti merkitsevästi dynaamista 1 RM:ää jalkaprässissä. Naisten EMÄS- ryhmä paransi merkitsevästi istuen tehtyä pystypunnerruksen isometristä maksimivoimaa.

Voimaharjoittelu oli koko ajan dynaamista ja siihen sisältyi useita liikkeitä alaraajalihaksille (jalkaprässi, reiden ojennus ja reiden koukistus). Tämä selittänee sen, että kaikissa muissa paitsi miesten EMÄS -ryhmässä tapahtui tilastollisesti merkitsevä parannus jalkaprässissä dynaamisessa 1 RM:ssä. Molemmissa isometrisissä voimamittauksissa huomattiin ainoastaan yhdessä ryhmässä tilastollisesti merkittävä muutos. Isometrisessä pystypunnerruksessa tapahtui tilastollisesti merkitsevä parannus pelkästään naisten EMÄS -ryhmässä. Tätä selittänee se, että voimaharjoittelua tehtiin suhteellisesti enemmän alaraajoille kuin yläraajoille.

On mielenkiintoista, että EMÄS -ryhmistä ainoastaan naiset kehittyivät selvästi yhdessä voimamittauksessa (isometrinen pystypunnerrus) ja miehet eivät yhdessäkään. HAPAN -ryhmissä tilastollisesti merkittäviä parannuksia oli yhteensä kolmessa (miesten ja naisten dynaaminen 1 RM jalkaprässi sekä miesten isometrinen jalkaprässi). Tästä voisi vetää varovaisia johtopäätöksiä, että EMÄS- ryhmän paljon kasviksia ja hedelmiä sisältävällä ruokavaliolla ei saada samanlaisia voimaominaisuuksien harjoitusadaptaatioita kuin HAPAN- ryhmän vähän kasviksia ja hedelmiä sisältävällä ruokavaliolla. Ruokapäiväkirjoista lasketuista kokonaisenergia- ja makroravintoaineiden keskiarvoista huomataan, että naisten ryhmissä energian- ja proteiininsaannissa ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä eroja. Miesten EMÄS- ryhmä sai tilastollisesti merkittävästi vähemmän sekä proteiinia että rasvaa ravinnostaan suhteutettuna koehenkilöiden massaansa ruokapäiväkirjan toisessa täyttökohdassa verrattuna HAPAN-ryhmään. Lisäksi miesten EMÄS- ryhmällä keskimääräinen kokonaisenergian saanti oli tutkimusintervention aikana vähäisempää kuin HAPAN- ryhmän. Kokonaisenergiassa ei

kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää eroa suuren hajonnan vuoksi. Lisäksi miesten EMÄS -ryhmällä kokonaisenergiansaanti laski lähtötilanteesta. Tämä selittänee ainakin osaksi sitä, miksi miesten EMÄS -ryhmässä ei tapahtunut tilastollisesti merkittävää parannusta missään voimaominaisuudessa. Tutkimusten mukaan merkittävä voiman kehittyminen vaatii riittävän (usein hieman yli arvioidun tarpeen) kokonaisenergiasaannin sekä proteiinin saannin. Energian- ja proteiinin saannin merkitys kasvaa entisestään, kun tehdään yhdistettyä kestävyys- ja voimaharjoittelua. (Ilander ym. 2006. 379–385.) Johtopäätöksiä tehdessä täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että sukupuolittain vertailtaessa yhdessäkin voimaominaisuudessa ryhmien välisissä muutoksissa ei ollut tilastollista merkitsevyyttä. Tämä puoltaisi sitä, että ruokavaliolla ei ollut merkitsevää vaikutusta voimaominaisuuksien kehittymiseen 12 viikon tutkimusintervention aikana.

Happo-emästasapaino ja kestävyysuorituskyky. Happo-emästasapainon eroja HAPAN ja EMÄS- ryhmän välillä tarkastellessa tulee ottaa huomioon, että ruokapäiväkirjojen perusteella HAPAN- ryhmän keskimääräinen kasvisten ja hedelmien saanti ylitti suosituksen (100–120) g päivässä. Lisäksi EMÄS -ryhmän kasvisten saanti jäi tavoitteesta, joka oli 1500 g päivässä. Tämä ilmiö oli nähtävissä molemmilla sukupuolilla.

Ruokavaliolla on saatu vaikutettua merkittävästi virtsan happamuuteen. Esim. Reddy ym. (2002) huomasivat tutkimuksessaan, että virtsan pH laski erittäin vähähiilihydraattisen ruokavalion seurauksena 6,09:stä 5,56:een kahden viikon aikana. Tässä tutkimuksessa ainoastaan naisilla virtsan pH:ssa oli merkitsevä ero post-mittauksessa HAPAN- ja EMÄS- ryhmän välillä. Tätä selittänee se, että naisilla ryhmien välinen ero kasvisten ja hedelmien saannissa oli erittäin merkitsevää sekä toisessa että kolmannessa ruokapäiväkirjan täyttökohdassa. Miehillä kasvisten ja hedelmien saannin ero ryhmien välillä oli myös tilastollisesti merkitsevää molemmissa ruokapäiväkirjan täyttökohdassa. Kuitenkaan virtsan happamuudessa ei ollut merkitsevää eroa. Miesten HAPAN -ryhmällä oli jopa keskimääräisesti emäksisempää virtsaa kuin EMÄS- ryhmällä post-mittauksessa. Tätä selittänee mahdollisesti EMÄS-ryhmän vähentynyt kokonaisenergian sekä hiilihydraattien saanti normaalitilanteesta, mikä saattaisi aiheuttaa lievän ketoosin, jonka tiedetään happamoittavan elimistöä (Guyton & Hall, 844). Toisaalta ruokavalion noudattamisessa ja

ruokapäiväkirjaraportoinnissa on voinut olla puutteita erityisesti miesten kohdalla.

Useissa tutkimuksissa on saatu aiheutettua veren pH:n ja bikarbonaattipitoisuuden merkittävä hetkellinen nousu esimerkiksi natriumbikarbonaatti- tai natriumsitraattitankkauksella (McNaughton ym. 1999; Ball & Maughan 1997; Bishop & Claudius 2005). Lisäksi on huomattu, että korkeahiilihydraattisella ruokavaliolla saadaan aiheutettua parantunut veren puskurointikapasiteetti verrattuna matalahiilihydraattiseen runsaasti rasvaa ja proteiinia sisältävään ruokavalioon, joka aiheuttaa elimistössä metabolisen asidoosin (Greenhaff ym. 1987a; 1988a; 1988b). Tässä tutkimuksessa EMÄS- ryhmän noudattamalla ruokavaliolla ei saatu muutettua veren happo-emästasapainoa emäksisemmäksi verrattuna HAPAN- ryhmän noudattamaan ruokavalioon.

Maksimaalisessa hapenottokyvyn testissä maksimaalisella teholla poljettaessa anaerobinen glykolyysi on merkittävä ATP:n tuottotapa aerobisen glykolyysin ohella. Monissa tutkimuksissa on osoitettu natriumbikarbonaatilla tai natriumsitraatilla aiheutetun metabolisen alkaloosin parantavan anaerobisen glykolyysin toimintaa, mikä parantaa myös maksimaalista kestävyysuorituksen tehoa (McNaughton ym. 1999; Bishop ym. 2004; McNaughton & Cedaro 1991). Parantunut puskurointikyky voidaan mitata epäsuorasti veren laktaattipitoisuuden kohoamisesta (Bishop ym. 2003). Näyttäisi siltä, että EMÄS- ryhmän noudattama ruokavalio ei ollut tarpeeksi ”emäksinen”, jotta veren puskurointikapasiteettia olisi saatu parannettua ja sitä kautta maksimaalinen pyöräilyteho olisi parantunut. Tämä käy ilmi siitä, että tutkimuksessa ei huomattu miesten tai naisten EMÄS- ryhmällä lepotilanteessa veren pH:n ja bikarbonaattipitoisuuden nousua, eikä maksimaalisessa hapenottokyvyn testissä merkittävää veren maksimaalisen laktaattipitoisuuden nousua tai pyöräilytehon paranemista.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että HAPAN- ryhmän noudattama ruokavalio ei aiheuttanut veren heikentynyttä puskurointikykyä. Tämä käy ilmi siitä, että naisten ja miesten HAPAN- ryhmän veren pH ja bikarbonaattipitoisuus eivät olleet merkittävästi muuttuneet lepotilanteessa harjoittelu- ja ruokavaliomanipulaatiojakson jälkeen. Lisäksi naisten ja miesten HAPAN- ryhmien maksimaalinen pyöräilyteho oli parantunut harjoittelujakson aikana.

Tutkimuksen heikkoutena oli se, että kumpikaan koeryhmä ei noudattanut kasvisten ja hedelmien syönnin osalta täysin ohjeistettua ruokavaliotaan ainakaan ruokapäiväkirjaraportointien perusteella. Tämä oli nähtävissä molemmissa kaikissa ryhmissä. Vaikka miehillä kokonaisenergian saannissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja HAPAN- ja EMÄS- ryhmien välillä, EMÄS- ryhmän kokonaisenergian sekä makroravintoaineiden saanti väheni normaalitilanteesta. Lisäksi on otettava huomioon, että miesten EMÄS- ryhmän normaalitilanteen ruokavalio (1. ruokapäiväkirjan täyttökohta) sisälsi enemmän energiaa ja makroravinteita kuin HAPAN- ryhmän. Tulevaisuudessa tehtävissä tutkimuksissa tulisi pystyä kontrolloimaan kontrolli- ja koeryhmän ruokavalion kokonaisenergiämäärää, kasvisten ja hedelmien sekä makroravintoaineiden saantia paremmin. Luultavasti lyhyemmällä tutkimusinterventiolla voitaisiin sitouttaa koehenkilöt noudattamaan paremmin ruokavaliota. Tällöin pystyttäisiin paremmin vertailemaan happamuutta ja emäksisyyttä aiheuttavan ruokavalion itsenäistä vaikutusta voima- ja kestävyysominaisuuksiin harjoitteluintervention aikana.

Yhteenveto. Tämän tutkimuksen perusteella kasvispitoinen (noin 800 - 1000 g kasviksia ja hedelmiä vuorokaudessa) ja normaalisti proteiinia sisältävä EMÄS - ruokavalio ei vaikuta veren pH:hon, mutta nostaa naisilla virtsan pH:ta 12 viikon harjoittelun aikana ja on korkeampi kuin HAPAN -ryhmällä. Tulokset vahvistavat näkemystä siitä, että ruokavaliolla voidaan vaikuttaa elimistön happoemästäsapainoon, mikä näkyy erityisesti virtsan happoemästäsapainon muutoksessa, mutta ei veren happoemästäsapainossa. Tutkimuksen päätulos oli, että EMÄS -ryhmän emäksisyyttä tuottava ruokavalio ei parantanut voima- ja kestävyysominaisuuksia verrattuna kontrolliryhmän suhteellisen ”normaaliin” suomalaisten käyttämään happamuutta tuottavaan ruokavalioon.

7 LÄHTEET

- Alexy, U., Kersting, M. & Remer, T. 2007. Potential renal acid load in the diet of children and adolescents: impact of food groups, age and time trends. *Public Health Nutrition*, 11 (3), 300–306.
- Bishop, D., Edge, J., Davis, C. & Goodman, C. 2004. Induced metabolic alkalosis affects muscle metabolism and repeated-sprint ability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36 (5), 807–813.
- Bishop, D. & Claudius, B. 2005. Effects of induced metabolic alkalosis on prolonged intermittent-sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37 (5), 759–767.
- Bouchard, C., An, P., Rice, T., Skinner, J.S., Wilmore, J.H., Gagnon, J., Pérusse, L., Leon, A.S., Rao, D.C., 1999. Familial aggregation of $\text{VO}_{2\text{max}}$ response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study. *Journal of Applied Physiology*, 87, 1003–1008.
- Coombes, J. & McNaughton, L. R. 1993. Effects of bicarbonate ingestion on leg strength and power during isokinetic knee flexion and extension, *Journal of Strength & Conditioning Research*, 7, 193–249.
- Cunningham, D. A., Rechnitzer, P.A., Howard J.H., Donner, A.P. 1987. Exercise training of men at retirement: a clinical trial. *Journal of Gerontology*, 42, 17–23.
- Faff, J., Satora, P., Stasiak, K. 2002, Changes in the aerobic and anaerobic capacities of army recruits during their military training are related to the initial level of physical fitness of the subjects, *Biology Of Sport*, 19 (3) 251–266.
- Greenhaff, P.L., Gleeson, M. & Maughan, R.J. 1987a. The effects of dietary manipulation on blood acid-base status and the performance of high intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56, 331–337.
- Greenhaff, P.L., Gleeson, M. & Maughan, R.J. 1988a. The effects of a glycogen loading regimen on acid-base status and blood lactate concentration before and after a fixed period of high intensity exercise in man. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57, 254–259
- Greenhaff, P.L., Gleeson, M. & Maughan, R.J. 1988b. The effects of diet on muscle pH

- and metabolism during high intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57 (5), 531–539.
- Guyton, A.C. & Hall, J.E. 2006. *Textbook of Medical Physiology*. W.B. Saunders Company, USA.
- Hurley, B.F., Hagberg, J.M., Allen, W.K., Seals, D.R., Young, J.C., Cuddihee, R.W., & Holloszy, J.O. 1984. *Journal of Applied Physiology*, 56, 1260–1264.
- Ibanez, J., Pullinen, T., Gorostiaga, E., Postigo A., & Mero, A. 1995. Blood lactate and ammonia in short-term anaerobic work following induced alkalosis. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 35, 187–193.
- Ilander, O., Borg, P., Laaksonen, M., Mursu, J., Ray, C., Pethman, K., Marniemi, A. 2006. *Liikuntaravitsemus, VK-Kustannus Oy, Jyväskylä*.
- Kellum, J.A. 2000. Determinants of blood pH in health and disease. *Critical Care*, 4, 6–14.
- Kohrt, W.M., Malley, M.T., Coggan, A.R., Spina, R.J., Ogawa, T., Ehsani, A.A., Bourey R.E., Martin, W.H., Holloszy, J.O. 1991. Effects of gender, age and fitness level on response of $\text{VO}_{2\text{max}}$ to training in 60–71 yr olds. *Journal of Applied Physiology*, 71, 2004–2011.
- Lindh, A.M., Peyrebrune, M.C., Ignham, S.A., Bailey, D.M. & Folland J.P. 2008. Sodium bicarbonate improves swimming performance. *International Journal of Sports Medicine*, 29, 519–523.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 2010. *Exercise physiology. Energy, nutrition and human performance*, 7th edition. Lippincot Williams & Willkins, USA.
- Mero, A., Nummela, A., Keskinen, K. L. & Häkkinen K. 2004. *Urheiluvallmennus, VK-Kustannus Oy, Jyväskylä*.
- Materko, W., Novaes, J.S., Santos, E.L. 2008. Effect of Bicarbonate Supplementation on the Muscular Strength, *Journal of Exercise Physiology*, 11, 25–33.
- Portington, K. J., Pascoe D. D., Webster, M. J., Anderson, L. H., Rutland R. R., Gladden, L. B. 1998. Effect of induced alkalosis on exhaustive leg press performance. *Medicine and Science in sports & Exercise*. 30 (4), 523–528.
- Quirion, Brisson, G. R., Laurencelle, L., DeCarufel, D., Audet, A., Dulac, S., Ledoux, M., & Vogelaere, P. 1988. Lactate threshold and onset of blood lactate accumulation during incremental exercise after dietary modifications, *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57, 192–197.
- Reddy, S.T., Wang, C.Y., Sakhaee, K., Brinkley, L., Pak, C.Y. 2002. Effect of low-

- carbohydrate high-protein diets on acid-base balance, stone-forming propensity, and calcium metabolism. *American Journal of Kidney Diseases*, 40, 265–274.
- Remer, T. & Manz, F. 1994. Estimation of the net renal net acid excretion by adults consuming diets containing variable amounts of protein. *American Journal of Clinical Nutrition*, 59, 1356–1361.
- Remer, T. 2001. Influence of nutrition on acid-base balance – metabolic aspects. *European Journal of Nutrition*, 40, 214–220.
- Remer, T., Dimitriou, T. & Manz, F. 2003. Dietary potential renal acid load and renal net acid excretion in healthy, free-living children and adolescents. *American Journal of Clinical Nutrition*, 77, 1255–1260.
- Robergs, R.A., Ghiasvand, F. & Parker, D. 2004. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 287, R502–R516.
- Saltin, B., Hartley, L., Kilbom, A., Åstrand, I. 1969 Physical training in sedentary middle-aged and older men. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 24, 323–334.
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., Raastad, T. E. 2011. Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21, 250–259.
- Silverthorn, D.U., Ober, W.C., Garrison, C.W. & Silverthorn, A.C. 2007. *Human Physiology*, 4th edition. Pearson Benjamin Cummings, USA.
- Simon, J., Young, J.L., Blood, D.K., Segal, K.R., Case, R.B., & Gutin, B. Plasma lactate and ventilation thresholds in trained and untrained cyclists. 1986 *Journal of Applied Physiology*, 60, 777–781
- Skinner, J.S., Jaskolski, A., Jaskolska, A., Krasnoff, J., Gagnon, J., Leon A. S., Rao, D. C., Wilmore, J.H. & Bouchard, C, 2000. Age, sex, race, initial fitness, and response to training: the HERITAGE Family Study, *Journal of Applied Physiology*, 90 (5), 1770–1776.
- Thomas, S.G., Cunningham, D.A., Rechnitzer., P.A., Donner, A.P., Howard, J.H. 1985 Determinants of the training response in elderly men. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 17, 667–672.
- Wilmore, J.H. & Costill, D.L. 2004. *Physiology of sport and exercise*, 3rd edition. Human Kinetics, USA.

- Webster, M. J., Webster, M. N., Crawford, R. E., Gladden, L. B. 1993. Effect of sodium bicarbonate ingestion on exhaustive resistance exercise performance, *Medicine & Science of Sports and Exercise*, 25, 960–965.
- Westerblad, H., Allen, D. G., Lännegren, J. 2002. Muscle Fatigue: Lactic Acid or Inorganic Phosphate the Major Cause? *Physiology*, 17, 17–21
- Ööpik, V., Saaremets, I., Timpmann, S., Medijainen, L., Karelson K. 2000. Effects of Acute Ingestion of Sodium Citrate on Metabolism and 5-km Running Performance: A Field Study, *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29, 691–703.