

**YHDISTETYN KESTÄVYYS- JA VOIMAHARJOITTELUN
VAIKUTUS pH:ON, LAKTAATTIIN JA SUBMAKSIMAA-
LISEEN KESTÄVYSSUORITUSKYKYYN KAHDILLA ERI-
LAISELLA RUOKAVALIOLLA**

Pasi Peltari

Liikuntafysiologia

Kandidaatin tutkielma

LFYA005

Kevät 2013

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Ohjaajat: Antti Mero

Enni-Maria Hietavala

TIIVISTELMÄ

Pelttari, Pasi 2013. Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutus pH:hon, laktaattiin ja submaksimaaliseen kestävyysuorituskykyyn kahdella erilaisella ruokavaliolla. Liikuntafysiologia, kandidaatin tutkielma, Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, 53s.

Johdanto. Elimistön emäksisyyttä lisäämällä on pystytty parantamaan sekä anaerobista että aerobista suorituskykyä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten emästä tuottava normaaliproteiininen ja runsaasti kasviksia ja hedelmiä sisältävä ruokavalio vaikuttaa elimistön happo-emästasapainoon, submaksimaaliseen kestävyysuorituskykyyn, pH:hon ja laktaatin tuottoon verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavaliioon 12 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun aikana.

Menetelmät. Tutkimukseen osallistui yhteensä 49 kuntoliikuntaa harrastavaa naista ja miestä, jotka jaettiin kahteen ruokavalioryhmään (Emäs / Hapan). Emäsryhmän ruokavalio oli arvioitu PRAL (potential renal acid load = potentiaalinen munuaisten happokuorma) -menetelmän avulla elimistön emäksisyyttä lisääväksi, kun taas hapanryhmä noudatti lähes normaalia ruokavaliota, jossa kuitenkin muun muassa kasvien ja hedelmien saantia oli rajoitettu. Koko 12 viikon 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 harjoittelujaksoa mitattiin veren ja virtsan pH sekä veren bikarbonaattipitoisuus. Maksimaalinen hapenottokyky määritettiin polkupyöräergometrillä, jonka pohjalta suoritettiin submaksimaalinen polkupyöräergometritesti: 3 x 8 min 35 %, 55 % ja 75 % teholla VO_{2max} :sta. Lisäksi ennen harjoittelua, harjoittelujakson puolivälissä ja harjoittelujakson lopussa tutkittavat pitivät kolmen päivän ajan ruokapäiväkirjaa.

Tulokset. Ravinto. Emäs- ja hapanryhmän miesten kasvien ja hedelmien saannissa oli eroja tutkimusjakson puolivälissä (Emäs: 898 ± 302 g vs. Hapan: 247 ± 243 g, $p < 0.001$) ja sen lopussa (Emäs: 803 ± 380 g vs. Hapan: 226 ± 96 g, $p < 0.01$). Naisilla samansuuntainen ryhmien välinen pieni ero havaittiin jo ennen tutkimusjaksoa (Emäs: 396 ± 203 g vs. Hapan: 249 ± 75 g, $p < 0.05$), mutta suuri ero tutkimusjakson puolivälissä (Emäs: 927 ± 307 g vs. Hapan: 209 ± 159 g, $p < 0.001$) ja sen lopussa (Emäs: 1066 ± 634 g vs. Hapan: 264 ± 273 g, $p < 0.001$). Miesten emäsryhmällä 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 hapanryhmän miehillä.

Aerobinen submaksimaalinen kestävyysuorituskyky. Emästä tuottava kasvispainotteinen normaaliproteiininen ruokavalio yhdessä 12 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun kanssa ei parantanut submaksimaalista suorituskykyä verrattuna happamuutta tuottavaan vähän kasviksia sisältäneeseen normaaliproteiiniseen ruokavalioon. Ainoa ero ryhmien väliltä löytyi miesten sykkeistä harjoittelun jälkeen: Emäsryhmän syke 35 %:n kuormalla oli 12 lyöntiä minuutissa hapanryhmää alempana (Hapan: 108 ± 3 vs. Emäs: 96 ± 4 ; $p < 0.05$).

Veren ja virtsan pH ja veren bikarbonaattipitoisuus. Veren pH:n tai bikarbonaattipitoisuuden lepoarvoissa tai niiden muutoksissa ei ollut eroja emäs- ja hapanryhmän välillä missään mittauspisteessä. Sen sijaan ryhmien välillä ero löytyi virtsan pH:n lepoarvoissa. Naisten emäsryhmän virtsan pH oli loppumittauksissa korkeampi kuin hapanryhmällä (Hapan: $5,56 \pm 0,72$ vs. Emäs: $6,35 \pm 0,98$; $p < 0.05$). Miesten virtsan pH:ssa ei ollut eroja ryhmien välillä. Aerobisessa submaksimaalisessa kuormituksessa naisten emäsryhmällä veren pH oli korkeampi kuin ennen harjoittelujaksoa 55 %:n (pre: $7,414 \pm 0,006$ vs. post: $7,427 \pm 0,009$; $p < 0.05$) ja 75 %:n (pre: $7,347 \pm 0,014$ vs. post: $7,376 \pm 0,011$; $p < 0.05$) kuormilla. Miesten kuormituksen aikaisissa veren pH-arvoissa ei tapahtunut muutoksia.

Pohdinta ja johtopäätökset. Tämän tutkimuksen perusteella kasvis- ja hedelmäpainotteinen (noin 800 - 1000 g kasviksia ja hedelmiä vuorokaudessa) ja normaalin määrän proteiinia sisältävä emäksinen ruokavalio ei vaikuta lepotilan veren pH:hon, mutta naisilla virtsan pH levossa nousi 12 viikon harjoittelun aikana ja oli korkeampi kuin hapanryhmällä. Nämä tulokset vahvistavat näkemystä siitä, että tarkasti säädellyn veren pH:hon lepotilassa on vaikea vaikuttaa, mutta virtsan pH:hon sen sijaan voidaan vaikuttaa. Miesten pH:n muuttumattomuus on luultavasti yhteydessä ruokavalion heikompaan noudattamiseen. Tutkimuksen päätulos oli, että emäsryhmän emäksisyyttä tuottava ruokavalio ei parantanut submaksimaalista kestävyysuorituskykyä verrattuna hapanryhmän suhteellisen ”normaaliin” suomalaisten käyttämään happamuutta tuottavaan ruokavalioon. Sen sijaan veren pH:n nousu 12 viikon harjoittelujakson jälkeen naisten emäsryhmällä submaksimaalisessa kestävyyskuormituksessa verrattuna ennen harjoittelua mitattuihin arvoihin antaa viitteitä ja tutkimushaasteita mahdollisista fysiologisista hyödyistä kovilla harjoittelujaksoilla urheilussa. Aihe vaatii lisätutkimuksia.

Avainsanat: *pH, submaksimaalinen kestävyysuorituskyky, laktaatti, ruokavalio*

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	5
2 HAPPO-EMÄSTASAPAINO	7
2.1 Happo-emästasapaino ja sen säätely	7
2.1.1 Kemiallinen puskurointi	8
2.1.2 Fysiologinen puskurointi	11
2.2 Ravinnon vaikutus happo-emästasapainoon	16
2.2.1 Emäksisyyttä aiheuttava ruokavalio	17
2.2.2 Happamuutta aiheuttava ruokavalio	18
2.3 Laktaatin tuotto	19
2.4 Voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutukset pH:hon ja laktaattiin	19
2.4.1 Voimaharjoittelu	20
2.4.2 Kestävyysharjoittelu	20
3 SUBMAKSIMAALINEN KESTÄVYYSSUORITUSKYKY	22
3.1 Voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutus submaksimaaliseen kestävyys- suorituskykyyn	24
3.2 Happo-emästasapainon vaikutus submaksimaaliseen kestävyys- suorituskykyyn	26
4 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT	28
5 TUTKIMUSMENETELMÄT	30
5.1 Koehenkilöt	30
5.2 Koeasetelma	30

5.2.1 Ravinto.....	31
5.2.2 Harjoittelu	33
5.3 Aineiston keräys ja analysointi	34
5.4 Tilastolliset menetelmät	36
6 TULOKSET	37
7 POHDINTA	45
LÄHTEET	50

1 JOHDANTO

Elimistön normaalin toiminnan takaamiseksi, happojen ja emästen tulee olla tasapainossa. Happo-emästasapaino (pH) riippuu kehon nesteiden vetyionipitoisuudesta (H^+), joka taas vaihtelee ravinnon mukana tulleiden vetyionien sekä kehossa syntyvien vetyionien seurauksena. Vetyionien tuoton ja sisäänoton tasapainon säätely on erittäin tarkkaa, sillä pienetkin muutokset vetyionipitoisuudessa voivat vaikuttaa suuresti elimistön entsyymien ja solujen toimintaan. (Guyton & Hall 2006, 379.)

Kolme pääsystemiä säätelee kehon nesteiden vetyionikonsentraatiota. Nämä systeemit ovat kehon nesteiden kemialliset happo-emäspuskurointisysteemit, hengityskeskus ja munuaiset. Kehon nesteiden puskurointisysteemit pitävät vetyionit sidottuina, kunnes tasapaino on taas muodostettu. Hengityskeskus eliminoi CO_2 :a (hiilidioksidi) ja täten myös H_2CO_3 :a (hiilihappo), kun taas munuaiset säätelevät virtsan happo-emäspitoisuutta tarpeen vaatiessa. Munuaiset ovat tehokkain happo-emästasapainon säätelijä. (Guyton & Hall 2000, 347.)

Voima- ja kestävyys harjoittelu voivat vaikuttaa suuresti happo-emästasapainoon. Voimaharjoittelu on yleensä rasittavaa ja lyhytkestoista, jolloin energiaa tuotetaan pääasiassa anaerobisesti. Anaerobinen glykolyysi järkyttää happo-emästasapainoa lisäämällä vetyionien määrää, jonka seurauksena lihaksen ja veren pH voivat laskea radikaalisti. Rinnakkaistapahtumana laktaatin määrä lisääntyy. (McArdle ym. 2001, 302.) Myös korkeaintensiteettisessä (yli 90 % VO_{2max} :sta) kestävyys harjoittelussa lihasten glykokeenin käyttö lisääntyy ja anaerobisuus lisääntyy (Saltin & Karlsson 1971). Tämä aiheuttaa kasvun sekä veren (Osnes & Hermansen 1972) että lihaksen (Sahlin ym. 1976) vetyionikonsentraatiossa.

Harjoittelun lisäksi happo-emästasapainoon vaikuttaa nautittu ravinto. Lähes kaikki nautittu ruoka vapauttaa verenkiertoon joko happoa tai emästä (Cordain ym. 2005) ja ravinnolla voidaan vaikuttaa merkittävästi happo-emästasapainoon. (Remer ym. 2003.) Tähän säätelyyn vaikuttaa ravinnon koostumus ja imeytymisnopeus (Remer 2001). Natrium, kalium, kalsium ja magnesium ovat kationeja, jotka muodostavat kehossa emäksiä. Natriumia saadaan ruokasuolasta. Kalsiumia sisältävät kasvisruoat

sekä maitotuotteet. Kaliumia ja magnesiumia taas on runsaasti kasviksissa ja hedelmissä. Ruoka-aineet, jotka sisältävät paljon rikkiä ja fosforia lisäävät elimistön happamoitumista. Fosforia on erityisesti lihassa ja maitotuotteissa ja rikkiä eläinkunnan proteiinissa, pähkinöissä ja viljoissa. (Alexy ym. 2007.)

Elimistön emäksisyyttä lisäämällä on pystytty parantamaan sekä anaerobista että aerobista suorituskkyä. Tämä on tapahtunut parantuneen puskurointikyvyn myötä, jolloin happamuuden aiheuttama lihasväsymys viivästyy. (McArdle ym. 2001; 231, 570). Alkaloosin (pH yli 7,4) tehoon vaikuttaa kuitenkin suuresti suorituksen kesto ja kaikissa tutkimuksissa tätä ei ole pystytty osoittamaan. Yleisesti kuitenkin ymmärretään, että elimistön happamuudesta on haittaa suorituskkyvylle. (Carr ym. 2011.)

Lukuisat kansalliset ja kansainväliset liikuntasuosituks (esim. Käypä hoito -suositus, 2012) painottavat sekä kestävyys- että voimaharjoittelun tärkeyttä. Ajankäytöllisesti tehokkainta on näiden harjoitusmuotojen yhdistäminen samaan harjoitukseen. Suurin osa kestävyysharjoittelusta ja liikunnasta tapahtuu submaksimaalisella alueella, mutta yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutusta submaksimaaliseen suorituskkyyn eri ruokavalioilla ei ole tutkittu. Tämän tutkimuksen tarkoituksena onkin selvittää elimistössä emästä tuottavan ruokavalion ja happoa tuottavan, niin sanotun normaalin ruokavalion vaikutusta submaksimaaliseen kestävyysuorituskkyyn, pH:hon ja laktaattiin yhdessä yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun kanssa.

2 HAPPO-EMÄSTASAPAINO

On elintärkeää, että vetyionisäätely on tarkkaa, sillä vetyionikonsentraatio vaikuttaa lähes kaikkien kehon entsyymisysteemien aktiivisuuteen. Veren vetyionikonsentraatio on normaalisti 0,00004 mEq/L ja normaalivaihtelu vain 3-5 nEq/L. (Guyton & Hall 2006, 379.)

2.1 Happo-emästäpaine ja sen säätely

Vetyioni on vapaa protoni, joka on vapautunut vetyatomista. Hapot ovat molekyylejä, jotka voivat vapauttaa vetyionin (esim. HCl). Emäkset taas ovat molekyylejä, jotka voivat vastaanottaa vetyionin (esim. HCO_3^-). Kehon proteiinit toimivat emästen tavoin, sillä osa aminohapoista, jotka muodostavat proteiineja, ovat negatiivisesti varautuneita ja voivat näin ollen vastaanottaa vetyionin. Hemoglobiini on yksi kehon tärkeimmistä emäksistä. Vahvat hapot (esim. HCl) luovuttavat vetyionin helpommin ja nopeammin kuin heikot hapot. Vahvat emäkset (esim. OH⁻) taas vastaanottavat vetyionin heikkoja helpommin. (Guyton & Hall 2006, 379.)

Vetyionikonsentraatio ilmoitetaan yleensä logaritmisella asteikolla, sillä pieniä lukuja on todella vaikea käyttää. Normaalin vetyionikonsentraation ollessa 0,00000004 Eq/L on pH 7,4 ($\text{pH} = -\log [0,00000004]$). pH on siis kääntäen verrannollinen vetyionikonsentraatioon, eli matala pH vastaa korkeata vetyionikonsentraatiota ja korkea pH vastaa matalaa vetyionikonsentraatiota. (Guyton & Hall 2006, 379.)
Valtimoveren pH on 7,4 ja laskimoveren pH hiilidioksidista johtuen 7,35. Asidoosiksi kutsutaan tilaa kun veren pH laskee alle 7,4:n ja alkaloosiksi tilaa kun pH kasvaa yli 7,4:n. Solunsisäisen nesteen pH on solutyypistä riippuen 6-7,4 ja virtsan pH voi vaihdella 4,5:n ja 8:n välillä riippuen solunsisäisen nesteen pH:sta. (Guyton & Hall 2006, 379.) Vetyionipitoisuus voi laskea raskaan liikunnan aikana valtimoveressä 6,8:an ja lihassoluissa 6,4:än (McArdle ym. 2001, 302.)

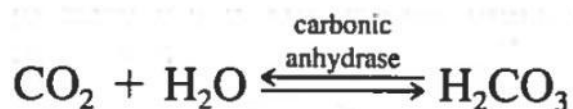
Kolme pääsystemiä säätelee kehon nesteiden vetyionikonsentraatiota. Nämä systeemit ovat: Kehon nesteiden kemialliset happo-emäspuskurointisysteemit, hengityskeskus ja

munuaiset. Kehon nesteiden puskurointisysteemit eivät lisää tai poista vetyioneja kehosta konsentraation muuttuessa vaan, pitävät ne sidottuina, kunnes tasapaino on taas muodostettu. Hengityskeskus eliminoi CO₂:a ja täten myös H₂CO₃:a, kun taas munuaiset säätelevät tarvittaessa virtsan happo-emäspitoisuutta. Kehon nesteiden puskurointisysteemi toimii sekunnin murto-osissa, hengityskeskus muutamassa minuutissa ja munuaiset tuntien kuluessa. Näistä kaksi ensimmäistä vastustavat vetyionikonsentraation muuttumista tarpeeksi, jotta voimakkain puskurijärjestelmä eli munuaiset pääsee vauhtiin ja neutraloi tilanteen. (Guyton & Hall 2000, 347.)

2.1.1 Kemiallinen puskurointi

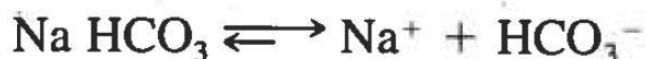
Kemiallinen puskuri on mikä tahansa aine, joka voi sekä sitoa että luovuttaa vetyionin. Ihminen saa ja tuottaa noin 80 mEq vetyioneja päivässä, mutta vetyionikonsentraatio kehon nesteissä on normaalisti vain 0,00004 mEq/L. Ilman puskurointia tämä johtaisi kehon nesteiden vetyionikonsentraation valtaviin muutoksiin. (Guyton & Hall 2010, 381.)

Bikarbonaatti. Bikarbonaattipuskurisysteemi koostuu kahdesta liuksesta, joista toisessa on heikko happo (hiilihappo, H₂CO₃) ja toisessa on bikarbonaattisuola (yleensä NaHCO₃). H₂CO₃:a muodostuu kun hiilidioksidi (CO₂) reagoi veden (H₂O) kanssa.

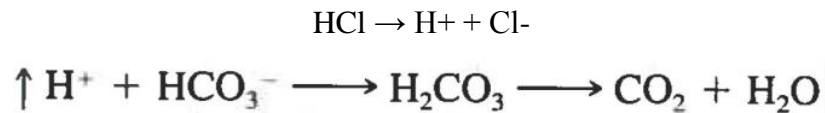


Tämä reaktio on hidaskin ja muodostaa todella vähän hiilihappoa (H₂CO₃), jos hiilihapoanhydraasi-entsyymi ei ole paikalla. Tätä entsyymiä on erityisesti keuhkojen alveoleissa, sekä munuaistiehyiden epiteelisoluissa. Reaktiossa muodostuva hiilihappo ionisoituu heikosti muodostaen pienen määrän vetyioneja. (Guyton & Hall 2010, 381.)

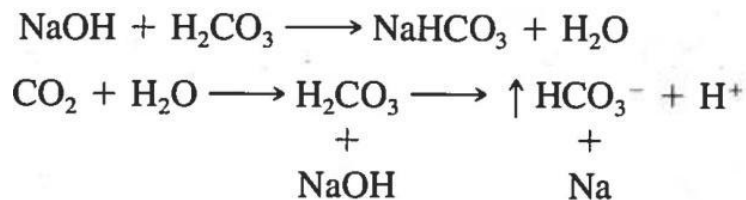
Bikarbonaattisuolaa esiintyy etupäässä natriumbikarbonaatissa (NaHCO₃) solun ulkosisällä nesteessä. Natriumbikarbonaatti ionisoituu lähes täydellisesti muodostaen bikarbonaatti- (HCO₃⁻) ja natriumioneja (Na⁺).



Koska hiilidioksidin hajoaminen on heikkoa, on vetyionikonsentraatio pieni. Kun vahva happo (esim. HCl) lisätään bikarbonaattipuskurisysteemiin, vetyionien vapautumista suolahaposta (HCl) puskuroi HCO_3^- . Tuloksena lisää hiilihappoa (H_2CO_3) muodostuu, mikä aiheuttaa lisääntyntä hiilidioksidin ja veden tuotantoa. Ylimääräinen hiilidioksidi stimuloi hengitystä, joka eliminoi hiilidioksidin solun ulkoisesta nesteestä. (Guyton & Hall 2010, 381.)



Vastakkaiset reaktiot tapahtuvat, kun vahva emäs (esim. natriumhydroksidi, NaOH), lisätään bikarbonaattipuskurisysteemiin. Natriumhydroksidin hydroksyyli-ioni (OH^-) yhdistyy hiilihapon (H_2CO_3) kanssa muodostaen bikarbonaatti-ioneja. Heikko emäs (NaHCO_3) korvaa vahvan emäksen (NaOH) ja samalla hiilihapon (H_2CO_3) konsentraatio laskee aiheuttaen hiilidioksidin reagoimisen veden kanssa, jolloin hiilihappovaje korvataan.



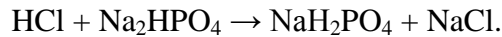
Tuloksena hiilidioksidipitoisuus veressä laskee, jolloin hengitys inhiiboituu ja hiilidioksidia poistuu vähemmän. Veren kasvanut HCO_3^- pitoisuus kompensoidaan kasvattamalla munuaisten HCO_3^- eritystä. (Guyton & Hall 2010, 381.)

Bikarbonaattipuskurointisysteemi on tärkein solun ulkopuolinen puskuri. Systeemin kahta elementtiä, bikarbonaattia (HCO_3^-) ja hiilidioksidia (CO_2) säännöstellään keuhkoissa ja munuaisissa. Tämän säännöstelyn johdosta solunulkoisen nesteen pH:ta voidaan tarkasti kontrolloida lisäämällä ja poistamalla näitä aineita. (Guyton & Hall 2010, 381.)

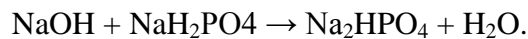
Fosfaatti. Fosfaattipuskurointijärjestelmällä on suuri rooli munuaistiehyiden ja solunsäisen nesteen puskuroinnissa. Solunulkoisen nesteen puskuroijana se ei ole merkittävä, sillä siellä sen konsentraatio on ainoastaan 8 % bikarbonaattipuskurin konsentraati-

osta. Fosfaattipuskurijärjestelmän pääelementit ovat H_2PO_4^- ja HPO_4^- . (Guyton & Hall 2010, 383.)

Kun vahva happo, kuten suolahappo (HCl), lisätään H_2PO_4^- :n ja HPO_4^- :n kanssa samaan seokseen, HPO_4^- vastaanottaa vetyionin ja muuttuu H_2PO_4^- :ksi. Tuloksena vahva happo (HCl) muuttuu heikoksi hapoksi (NaH_2PO_4) ja pH:n lasku minimoituu.



Kun puskurointisysteemiin lisätään vahva emäs (NaOH), H_2PO_4^- puskuroi OH^- :n ja muodostuu H_2PO_4^- :a ja H_2O :a. Tämän tuloksena vahva emäs (NaOH) vaihtuu heikoksi emäkseksi (Na_2HPO_4) ja pH kasvaa vain hieman. (Guyton & Hall 2010, 383.)



Fosfaattipuskuri on erittäin merkittävä munuaistiehyiden nesteissä kahdesta syystä. Ensinnäkin fosfaatti väkevöityy tiehyissä huomattavasti ja lisää fosfaattisysteemin puskurointivoimaa. Toiseksi, tiehyiden pH on selvästi matalampi kuin solunulkoisen nesteen, jonka vuoksi puskurin toiminta-alue on lähempänä systeemin pK:ta (6,8). Fosfaattipuskurisysteemi on merkittävä tekijä myös solunsisäisen nesteen puskuroinnissa, sillä fosfaattikonsentraatio on solun sisäisessä nesteessä moninkertainen verrattuna solun ulkoiseen nesteeseen ja pH on alhaisempi. (Guyton & Hall 2010, 383.)

Proteiinit. Proteiinit ovat yksi kehon runsaimmista puskureista korkean konsentraation-
sa takia, erityisesti solujen sisällä. Arviolta 60–70 % koko kehon kemiallisesta puskuroinnista tapahtuu solujen sisällä ja tästä suurin osa on solun sisäisten proteiinien ansiota. (Guyton & Hall 2010, 383.)

Solujen pH vaihtuu suunnilleen samassa suhteessa solunulkoisen nesteen pH:n kanssa. Pieni määrä vety- ja bikarbonaatti-ionien diffuusiota solukalvon läpi tapahtuu koko ajan. Näiden ionien kohdalla diffuusio on todella hidasta, mutta hiilidioksidi diffundoitua solukalvojen läpi erittäin nopeasti. Eri ionien erilainen diffuusionopeus bikarbonaattipuskurisysteemissä aiheuttaa solun sisäisen nesteen pH:n muutokset kun solunulkoisen nesteen pH muuttuu. Tästä syystä solunsisäisen nesteen

puskurointisysteemit auttavat ehkäisemään pH:n muutosta solun ulkoisessa nesteessä, vaikkakin maksimaalisen vaikutuksen aikaansaaminen voi kestää useita tunteja. (Guyton & Hall 2010, 383.)

2.1.2 Fysiologinen puskurointi

Hengitys. Ventilaation kasvu poistaa hiilidioksidia solun ulkoisesta nesteestä. Kun ventilaatio on suurta, vetyionikonsentraatio laskee. Ventilaation laskiessa hiilidioksidipitoisuus kasvaa, jolloin myös vetyionikonsentraatio kasvaa. (Guyton & Hall 2000, 351.)

Hiilidioksidia muodostuu koko ajan solun sisäisissä metabolisissa prosesseissa. Muodostumisen jälkeen se diffundoituu soluista soluvälitilaan ja vereen. Virtaava veri kuljettaa hiilidioksidin keuhkoihin missä se diffundoituu alveoleihin ja kuljetetaan hengityksen mukana ilmakehään. Jos hiilidioksidin metabolinen muodostus lisääntyy, kasvaa solunulkoisen nesteen hiilidioksidin osapaine (P_{CO_2}). Käänteinen muutos laskee osapainetta. Keuhkotuuletuksen lisääntyessä hiilidioksidin poistuminen keuhkoista lisääntyy ja hiilidioksidin osapaine solun ulkoisessa nesteessä laskee. Kuten jo aiemmin on mainittu, hiilidioksidipitoisuuden kasvaessa myös hiilihappopitoisuus ja vetyionikonsentraatio kasvavat laskien solunulkoisen nesteen pH:ta. (Guyton & Hall 2000, 351.)

Hiilidioksidin metabolisen muodostumisen pysyessä vakiona vain alveoleissa tapahtuva hengityskaasujen vaihtuminen vaikuttaa hiilidioksidin osapaineeseen. Alveolaarisen ventilaation tuplaantuessa solunulkoisen nesteen pH kasvaa noin 0,23:lla. Alveolaarisen ventilaation laskiessa neljäsosaan normaalista pH laskee 0,45:llä. Koska alveolaarinen ventilaatio voi muuttua jopa 15 kertaiseksi normaalista, hengityksellä on suuri merkitys kehon nesteiden pH:n säätelijänä. (Guyton & Hall 2000, 351–352.)

Vetyionikonsentraatiolla on suuri vaikutus alveolaariseen ventilaatioon. Kun pH laskee 7,0:aan, alveolaarinen ventilaatio kasvaa 4–5 kertaiseksi normaalista. Ventilaation muutos suhteessa pH:n muutokseen on matalammalla pH:lla huomattavasti suurempi kuin pH:n ylemmillä tasoilla. (Guyton & Hall 2000, 352.)

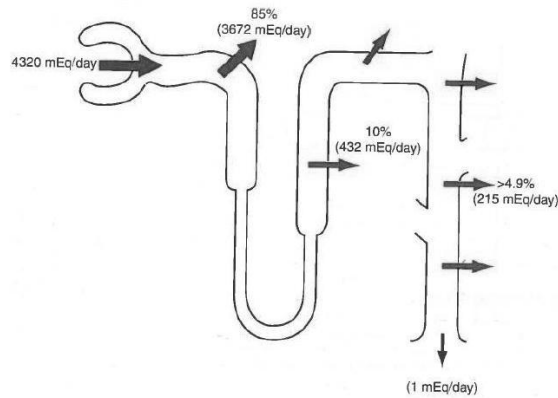
Happo-emästasyytilän hengityksellinen säätely toimii nopeasti ja se estää vetyionikonsentraatiota muuttumasta liikaa, jolloin munuaiset ehtivät eliminoidaan

vetyionikonsentraation suuremmat muutokset. Hengityksen puskurointikyky on 1-2 kertaa suurempi kuin kaikkien muiden kemiallisten puskurien yhteensä solun ulkoisessa nesteessä. Hengitysjärjestelmä ei kuitenkaan pysty palauttamaan vetyionikonsentraatiota kokonaan normaaliksi, mikäli häiriötekijä hengityskeskuksen ulkopuolelta on muuttanut pH:ta. (Guyton & Hall 2000, 352.)

Munuaiset. Munuaiset kontrolloivat happo-emästasapainoa erittämällä joko emäksistä tai hapanta virtsaa. Tällä kontrolloinnilla solunulkoisen happo- tai emäskonsentraatio muuttuu. Suuret määrät bikarbonaatti-ioneja suodatetaan jatkuvasti munuaistiehyihin, ja mikäli ne eritetään virtsan mukana, verestä poistuu emästä. Myös suuria määriä vetyioneja eritetään munuaistiehyiden onteloon, jolloin verestä poistuu happoa. Mikäli vetyioneja eritetään enemmän kuin bikarbonaatti-ioneja suodatetaan, happoa poistuu solun ulkoisesta nesteestä. Sama toimii myös toiseen suuntaan. Munuais erityis on päämekanismi happojen poistamiseksi kehosta. (Guyton & Hall 2000, 353.)

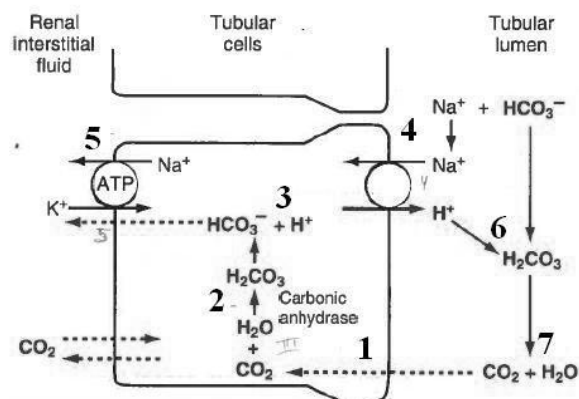
Alkaloosissa bikarbonaatti-ionien poistaminen nostaa vetyionikonsentraatiota kohti normaalia. Asidoosissa taas munuaiset eivät eritä bikarbonaattia virtsaan, vaan imevät takaisin kaiken suodatetun bikarbonaatin ja tuottavat uutta bikarbonaattia, joka lisätään takaisin solun ulkoiseen nesteeseen. Bikarbonaattien erittymisen estäminen virtsaan on munuaisille määrällisesti happojen eritystä tärkeämpi tehtävä. (Guyton & Hall 2000, 353.)

85 % bikarbonaatti-ionien imeytymisestä takaisin (ja vetyionien erittymisestä) tapahtuu proksimaalisessa munuaistiehyessä (Kuva 1). Bikarbonaatti-ioneista 10 % imeytyy takaisin Henlen linnon paksusta nousevasta osasta ja aiemmasta distaalista tiehyestä. Näissä osissa tapahtuvaa eritystä kutsutaan sekundääriseksi aktiiviseksi kuljetukseksi joka tapahtuu natrium-vetykuljetuksen avulla. (Guyton & Hall 2006, 354.)



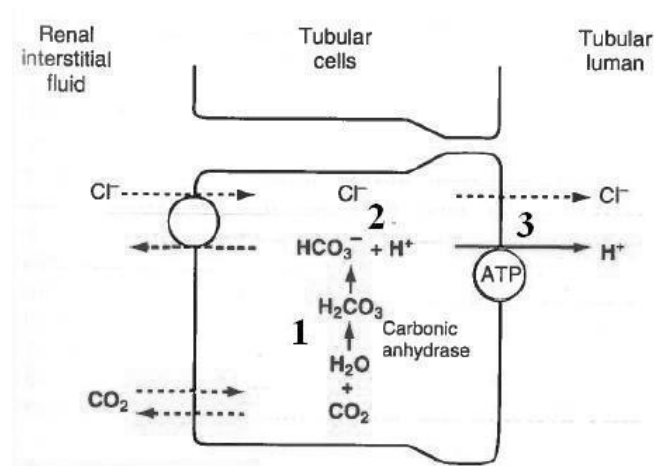
Kuva 1. Bikarbonaatti-ionien eritys ja vetyionien takaisinimeytyminen munuaisissa (Guyton & Hall 2006, 354.)

Eritysprosessi (Kuva 2) alkaa, kun (1) hiilidioksidi joko diffundoituu munuaistiehyen soluihin tai muodostuu tiehyiden epiteelisolujen metaboliassa. Hiilidioksidi reagoi veden kanssa (2) ja muodostaa hiilihappoa. Hiilihappo hajoaa (3) vety- ja bikarbonaatti-ioneiksi. Vetyionit eritetään solusta munuaistiehyen onteloon (4), jolloin natrium-ioneja menee vaihdossa solun sisään (natriumionien siirtymisessä saatava energia käytetään vetyionien erittämiseen solusta). Solun sisällä tuotetut bikarbonaatti-ionit siirtyvät (5) natrium-kaliumpumpun avulla soluvälinesteeseen ja tätä kautta verenkiertoon. Eli tuloksena: Jokaista alkuvirtsasta takaisin vereen imettyä bikarbonaatti-iona kohti yksi vetyioni eritetään. Hiussuonikeräessä suodatetut bikarbonaatti-ionit eivät voi sellaisenaan imeytyä takaisin soluun vaan ensin ne yhtyvät (6) munuaistiehyen solujen erittämän vetyionin kanssa muodostaen hiilihappoa. Hiilihappo hajoaa (7) hiilidioksidiksi ja vedeksi ja hiilidioksidi diffundoituu (1) helposti munuaistiehyen soluun. (Guyton & Hall 2006, 354.)



Kuva 2. Vetyionien eritys munuaistiehyessä (mukailtu Guyton & Hall 2006, 354).

Myöhemmässä distaalisen tiehyen epiteelisoluissa ja kokoojaputken epiteelisoluissa tapahtuu primäärinen aktiivinen kuljetus (Kuva 3). Ensiksi liuennut hiilidioksidi liittyy veteen ja muodostaa hiilihappoa (1). Tämän jälkeen hiilihappo hajoaa (2) bikarbonaatti-ioniksi, joka uudelleen imetään vereen ja vetyioniksi, mikä eritetään (3) munuaistiehyeen. Kuten proksimaalisessa munuaistiehyessä, jokaista eritettyä vetyionia kohden yksi bikarbonaatti absorboidaan. Vaikka vetyionien erityys tässä osassa on vain noin 5 % kaikesta vetyionien erityksessä, on se tärkeää happaman virtsan tuottamiseksi. (Guyton & Hall 2006, 354.)



Kuva 3. Primäärinen aktiivinen kuljetus (mukailtu Guyton & Hall 2006, 354).

Vain pieni osa ylimääräisistä vetyioneista voidaan erittää virtsaan, sillä virtsan minimaalinen pH (noin 4,5) vastaa todella pientä vetyionikonsentraatiota. Kun kaikki bikarbonaatit ovat reabsorboituneet, ei vetyioneja enää voida puskuroida bikarbonaatilla, vaan vetyionit yhdistyvät muiden puskureiden kanssa. Tärkeimmät näistä puskureista ovat fosfaatti ja ammoniakki. Munuaiset eivät siis vain reabsorboi jo suodatettua bikarbonaattia vaan tuottavat uutta ja paikkaavat näin bikarbonaatin menetystä (solun ulkoisessa nesteessä) asidoosissa. (Guyton & Hall 2006, 354.)

Fosfaatti on tehokas puskuroija munuaistiehyen nesteessä sillä se reabsorboituu heikosti ja munuaistiehyen nesteessä se toimii lähellä tehokkainta pH-alueensa. Solusta eritetyt ylimääräiset vetyionit yhdistyvät HPO_4^- :n kanssa ja muodostavat H_2PO_4^- :ää. Se voidaan täten erittää natriumsuolana, joka kantaa mukanaan ylimääräisen vetyionin. Eli aina kun vetyioni eritetään munuaistiehyen onteloon, se yhdistyy fosforin kanssa ja tuloksena on yksi uusi bikarbonaatti-ioni verenkiertoon. (Guyton & Hall 2006, 354.)

Munuaistiehyen nesteen toinen puskuri on ammoniakki. Tämä systeemi on jopa määrällisesti fosfaattisysteemiä tärkeämpi. Glutamiini hajoaa tubuluksissa ammoniumioneiksi ja bikarbonaatti-ioneiksi. Jokaista glutamiinimolekyyliä kohden muodostuu kaksi ammoniumionia ja kaksi bikarbonaatti-ionia. Ammoniumionit eritetään virtsaan ja bikarbonaatti-ionit palautetaan vereen. Kokoojaputkissa reaktiosarja on hieman erilainen: Ammoniakki yhdistyy vetyionin kanssa muodostaen ammoniumionin, joka eritetään. Jokaista eritettyä ammoniumionia kohti yksi uusi bikarbonaatti-ioni tuotetaan ja lisätään vereen. (Guyton & Hall 2006, 355.)

Kasvu solunulkoisen nesteen vetyionikonsentraatiossa (asidoosi) stimuloi munuaisten glutamiinimetabolialia ja lisää täten ammoniumionien ja bikarbonaatti-ionien muodostusta. Kroonisessa asidoosissa ammoniumionien erityis onkin tärkein happamuuden eliminointimenetelmä. (Guyton & Hall 2006, 355.)

Asidoosi. Asidoosissa bikarbonaatin ja hiilidioksidin suhde pienenee. Jos tämä johtuu bikarbonaatin vähenemisestä, on kyseessä metabolinen asidoosi. Mikäli hiilidioksidi lisääntyy, on kyseessä respiratorinen asidoosi. Molemmat näistä aiheuttavat laskun bikarbonaatti-ionien pitoisuuteen munuaistiehyessä. Tästä johtuen vetyioneja on ylimäärin, jolloin kaikki bikarbonaatti-ionit absorboituvat ja uusia muodostuu. (Guyton & Hall 2010, 391.)

Metabolisessa asidoosissa vetyionien ylimäärä johtuu laskeneesta bikarbonaatti-ionien suodatukselta, joka taas on seurausta bikarbonaattipitoisuuden laskusta solun ulkoisessa nesteessä. Tilannetta paikataan uuden bikarbonaatin tuottamisella ja hengityksen lisääntymisellä, jolloin hiilidioksidia poistuu. (Guyton & Hall 2010, 391.)

Respiratorisessa asidoosissa vetyionien ylimäärä johtuu hiilidioksidin osapaineen kasvusta solun ulkoisessa nesteessä, joka stimuloi vetyionien eritystä. Tilannetta kompensoidaan uusilla bikarbonaatti-ioneilla, jotka auttavat laskemaan hiilidioksidipitoisuutta. Näin plasman pH nousee kohti normaalia. (Guyton & Hall 2010, 391.)

Alkaloosi. Alkaloosissa bikarbonaatin ja hiilidioksidin suhde solun ulkoisessa nesteessä kasvaa, joka johtaa kasvaneeseen pH:n. Bikarbonaattia on ylimäärin jolloin sen erityis

virtsaan lisääntyy ja samalla vetyioneja siirtyy solun ulkoiseen nesteeseen. Alkaloosin kompensointi tapahtuu käytännössä täysin päinvastoin kuin asidoosissa. (Guyton & Hall 2010, 391–392.)

Respiratorisessa alkaloosissa solunulkoisen nesteen pH kasvaa ja vetyionien konsentraatio laskee. Respiratorinen alkaloosi johtuu laskeneesta plasman hiilidioksidiosapaineesta, mikä on seurausta hyperventilaatiosta. Tämä johtaa laskeneeseen vetyionipitoisuuteen. Laskeneen vetyionipitoisuuden takia bikarbonaatti-ionit eivät voi reagoida vetyionien kanssa, jolloin ne eritetään virtsaan. Tämän takia bikarbonaattipitoisuus laskee. (Guyton & Hall 2010, 392.)

Metabolisessa alkaloosissa oireet ovat samat kuin respiratorisessa alkaloosissa, mutta syynä on solunulkoisen nesteen bikarbonaattipitoisuuden kasvu. Tilannetta kompensoidaan hengityksen pienentämisellä, jolloin hiilidioksidipitoisuus kasvaa ja pH laskee kohti normaalia. (Guyton & Hall 2010, 392.) Asidoosin ja alkaloosin vaikutukset on esitelty taulukossa 1.

Taulukko 1. Asidoosin ja alkaloosin vaikutus pH:n, vetyionikonsentraatioon, hiilidioksidiosapaineeseen ja bikarbonaatti-ionikonsentraatioon (mukailtu Guyton & Hall 2010, 391).

	pH	H ⁺	PCO ₂	HCO ₃ ⁻
Normaali	7,4	40 mEq/l	40 mmHg	24 mEq/l
Respiratorinen asidoosi	↓	↑	↑↑	↑
Respiratorinen alkaloosi	↑	↓	↓↓	↓
Metabolinen asidoosi	↓	↑	↓	↓↓
Metabolinen alkaloosi	↑	↓	↑	↑↑

2.2 Ravinnon vaikutus happo-emästasapainoon

Lähes kaikki nautittu ruoka vapauttaa verenkiertoon joko happoa tai emästä (Cordain ym. 2005.) Suolisto säätelee veren bikarbonaatti-ionipitoisuutta, joka taas vaikuttaa suoraan elimistön happo-emästasapainoon. Tähän säätelyyn vaikuttaa ravinnon koostumus ja imeytymisnopeus. Esimerkiksi magnesiumkloridin magnesium imeytyy huonosti ja kloridi hyvin, jolloin imeytymättömät magnesiumionit täytyy puskuroida bikarbonaatilla. Tämä pienentää kehon bikarbonaattivarastoja. Samalla ylimäärin

imeytyneet kloridi-ionit täytyy puskuroida natriumioneilla. Natriumbikarbonaatin määrä veressä vähenee ja samalla myös veren puskurointikyky heikkenee. Tätä kutsutaan happokuormaksi. Happo- ja emäskuormia aiheuttavat maksa ja muut aineenvaihdunnassa aktiivisesti mukana olevat kudokset. Näissä tapahtuu esimerkiksi rikkiä sisältävien aminohappojen käsittely, mikä tuottaa rikkihappoa. Natriumsitraatin käsittely taas tuottaa bikarbonaatti-ioneita. (Remer 2001.)

Remer ja Manz (1995) ovat esittäneet laskentamallin (PRAL = Potential Renal Acid Load) jonka avulla happokuormia voidaan laskea. Happokuormaan vaikuttaa ruoka-aineen sisältämä proteiinin, fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrä. Tässä laskentamallissa PRAL:n ollessa negatiivinen ruoka-aine aiheuttaa elimistössä emäksisyyttä ja positiivisen PRAL:n ruoka-aineet taas aiheuttavat kehossa happamuutta (Alexis ym. 2007). Negatiivisia arvoja on lähinnä kasviksilla ja hedelmillä, kun taas korkeimpia positiivisia arvoja omaavat juusto- ja lihatuotteet (Remer & Manz 1995). PRAL voidaan laskea seuraavasti: $PRAL \text{ (mEq/pvä)} = 0,49 \times \text{proteiini (g/pvä)} + 0,037 \times \text{fosfori (mg/pvä)} - 0,021 \times \text{kalium (mg/pvä)} - 0,026 \times \text{magnesium (mg/pvä)} - 0,013 \times \text{kalsium (mg/pvä)}$

2.2.1 Emäksisyyttä aiheuttava ruokavalio

Natrium, kalium, kalsium ja magnesium ovat kationeja, jotka muodostavat kehossa emäksiä. Kalsiumia sisältävät kasvisruoat sekä maitotuotteet. Kaliumia ja magnesiumia taas on runsaasti kasviksissa ja hedelmissä. (Alexis ym. 2007.) Länsimaisen ruokavalion perustana ovat viljakasvit, jotka tuottavat happokuormia. Viljakasveja tulisi vaihtaa juureksiin ja muihin kasvikunnan tuotteisiin, jolloin ruokavalio muuttuisi emäskuormia aiheuttavaksi. (Sebastian ym. 2002.)

Tutkimusten perusteella korkeahiilihydraattisella ravinnolla veren pH on korkeampi kuin matalahiilihydraattisella ruokavaliolla (Greenhaff ym. 1987). Hiilihydraattien merkitys energiantuotannossa on merkittävä (kansainvälinen suositus 55 % päivän kokonaisenergiansaannista). Runsashiilihydraattinen ruokavalio säästää kehon proteiinivarastoja. (McArdle ym. 2001, 14–15.) Runsashiilihydraattisen dieetin vaikutus pH:n johtuu todennäköisesti dieetin vaikutuksesta vähentyneestä proteiinien

nauttimisesta (Katso kappale 2.2.2 Happamuutta aiheuttava ruokavalio) (Greenhaff ym. 1987).

2.2.2 Happamuutta aiheuttava ruokavalio

Proteiinipitoinen ruoka lisää happojen muodostusta elimistössä (Remer 2001). Vaikka proteiinit ovat elimistölle erittäin tärkeitä (rakennusaine, hapen kuljetus, lihassupistus ym.) niiden merkitys energiansaannin kannalta on pieni. Saantisuosituksen mukaan proteiinien saantisuositus kohtuullisesti liikkuvilla on noin 10 – 15 % kokonaisenergiansaannista. (Borg ym. 2004, 34, 55.) Proteiinit muodostuvat hiilen, hapen, typen ja vedyn atomeista. Proteiinimolekyylit voi sisältää rikkiä, fosforia, kobolttia sekä rautaa ja se muodostuu aminohapoista, jotka ovat sitoutuneet toisiinsa kemiallisilla peptidisidoksilla. Mitä enemmän välttämättömiä aminohappoja proteiini sisältää sen parempana sitä pidetään. Tämän luokittelun mukaan parhaita proteiininlähteitä ovat kananmuna, kala, liha, maito ja riisi. (McArdle ym. 2001, 32–33.)

Erityisesti rikkiä sisältävät aminohapot lisäävät happojen muodostumista ja samalla sen erityistä virtsaamista. Tällaisten aminohappojen käsittelyssä syntyy kloridia, fosforia sekä sulfaattia, jotka aiheuttavat lisääntyneen happojen muodostumisen. Rikkiä on erityisesti eläinkunnan proteiineissa, pähkinöissä ja viljoissa. (Remer 2001.) Myös fosforia sisältävät ruoka-aineet lisäävät elimistön happokuormaa. Fosforia on erityisesti lihassa ja maitotuotteissa. (Alexy ym. 2007.)

Kuten jo aiemmin on tullut ilmi, matalahiilihydraattisella ravinnolla veren pH on alhaisempi kuin korkeahiilihydraattisella ruokavaliolla (Greenhaff ym. 1987). Matalahiilihydraattinen ruokavalio aiheuttaa Greenhaffin ym. (1988) mukaan uupumuksen aikaisemmin kuin korkeahiilihydraattinen ruokavalio. Tämä osoitettiin maksimaalisessa polkupyöräergometritestissä. Matalahiilihydraattinen ruokavalio sisälsi paljon rasvaa sekä proteiinia. Tämä johti todennäköisesti heikentyneeseen puskurointikykyyn ja tämä edelleen heikentyneeseen suorituskykyyn.

2.3 Laktaatin tuotto

Maitohapon tuotto on suorassa suhteessa suorituksen intensiteettiin ja työskentelevien lihasten massaan. Maitohappo hajoaa muodostumisen jälkeen vety- ja laktaatti-ioneiksi, jotka sitten diffundoituvat, tai ne kuljetetaan solukalvon läpi soluvälitilaan ja verenkiertoon. Laktaattia tuottavat lähinnä lihassolut ja sitä myös siirtyy takaisin lihaksiin, mutta suurimman osan laktaatista käyttävät sydänlihas ja maksa joko suoraan energiantuotossa tai glukoosin muodostuksessa. (McArdle ym. 2010, 163 – 164; Mero ym. 2004, 98–99.)

Kun intensiteetti kasvaa tarpeeksi korkeaksi, laktaattia alkaa kertyä vereen, sillä aerobisesta energiantuotosta joudutaan siirtymään anaerobiseen glykolyysiin jonka sivutuotteena syntyy maitohappoa (McArdle ym. 2010, 163 – 164). Laktaattipitoisuuden kasvaessa veressä sen siirtyminen lihaksiin nopeutuu, jolloin laktaattia kasautuu myös lihaksiin. Intensiteetin kasvaessa myös II-tyyppin lihassolujen käyttö kasvaa ja samalla myös laktaatin tuotto. (Mero ym. 2004, 98–99.)

Laktaatin tuotto on välttämätöntä, jotta lihakset pystyvät tuottamaan NAD^+ :aa, joka tukee ATP:n regeneraatiota glykolyysissä (Robergs ym. 2004). Mikäli maitohappoa ei muodostuisi, glykolyysi voisi kestää vain joitakin sekunteja (Guyton & Hall 2000, 353). Laktaatin muodostaminen myös hidastaa asidoosia. Laktaatin kerääntyminen vereen ja lihaksiin on hyvä epäsuora indikaattori lisääntyneelle protonien vapautumiselle ja pH:n laskemiselle. (Robergs ym. 2004.) Alkaloosin on todettu nostavan veren laktaattipitoisuutta fyysisen kuormituksen aikana verrattuna neutraalissa tilassa suoritettuun saman tehoiseen kuormitukseen (Bouissou ym. 1988).

2.4 Voima- ja kestävyys harjoittelun vaikutukset pH:hon ja laktaattiin

Lihasten väsymys voi johtua monesta eri tekijästä ja lihasväsymykseen vaikuttavia muuttujia ovat harjoituksen laatu ja intensiteetti. Väsymystä aiheuttavia tekijöitä ovat keskushermoston toiminnassa tapahtuvat muutokset, sekä aineenvaihduntatuotteiden loppuminen tai lopputuotteiden kertyminen. (Enoka 2002, 385.) Tässä kappaleessa

keskitytään voima- ja kestävyysharjoittelun aiheuttamiin muutoksiin pH:ssa ja laktaatissa.

2.4.1 Voimaharjoittelu

Lihasta kuormitettaessa toistuvasti tai pitkään sen kyky tuottaa voimaa heikkenee, eli lihas väsyä. Väsymisen seurauksena voimantuotto laskee. Voimantuoton lasku on suurimmillaan harjoituksen lopussa, mutta se alkaa heti harjoituksen alussa. Voimantuotto palautuu ennalleen levon myötä. Palautumisen kestoon vaikuttavat harjoituksen intensiteetti ja määrä. (Nigg ym. 2000, 435.)

Voimaharjoittelu on yleensä rasittavaa ja lyhytkestoista, jolloin energiaa tuotetaan pääasiassa anaerobisesti. Lihaksen ATP ja KP varastot ovat todella alhaiset, minkä seurauksena myös anaerobista glykolyysiä käytetään energian muodostamiseen. Anaerobinen glykolyysi järkyttää happo-emästasapainoa lisäämällä vetyionien määrää (pH laskee). Samalla myös laktaatin määrä voi nousta jopa 30 mmol/l. Näin suuri määrä laktaattia veressä laskee veren pH:n noin 6,8:n ja lihaksen pH:n jopa 6,4:ään. (McArdle ym. 2001, 302.)

Voimaharjoittelun seurauksena lihassolujen anaerobiset energiavarastot ja entsyymiaktiivisuus kasvavat. Nämä muutokset yhdessä hypertrofian ja neuraalisten muutosten kanssa parantavat lihaksen maksimaalista voimantuottoa. (McArdle ym. 2001, 532.)

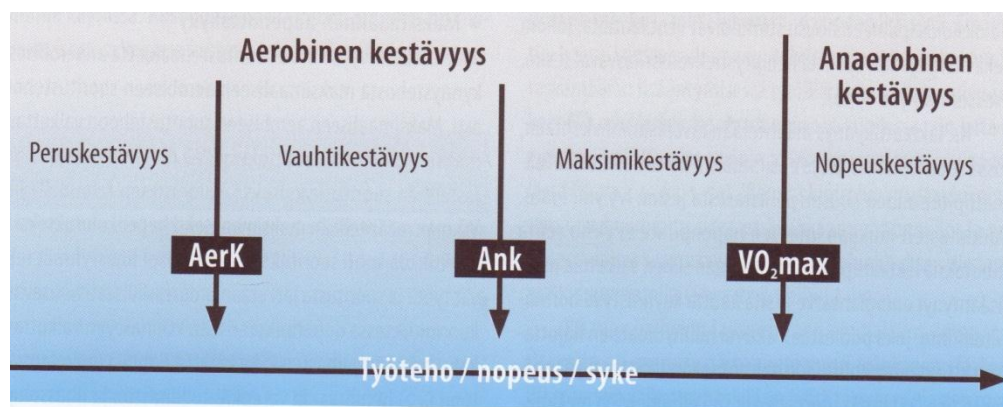
2.4.2 Kestävyysharjoittelu

Harjoituksen aikana hapenotto (VO_2) kasvaa, jotta kasvanut energiantarve saadaan tyydytettyä (Mero 2004, 76). Matalatehoisen (65–90 % VO_{2max} :sta) harjoituksen harjoitusvaikutus kohdistuu pääasiassa lihasten energiantuottoon (Mero 2004, 335.) Tämän harjoitusintensiteetin on todettu parantavan parhaiten VO_{2max} :ä, kun harjoitus on tarpeeksi pitkäkestoinen (30–120 min). Vasta 65–90 % VO_{2max} :sta intensiteetillä laktaattipitoisuus alkaa nousta. (Jones & Carter 2000).

Korkeaintensiteetisessä (yli 90 % VO_{2max} :sta) harjoittelussa lihasten glykogeeni on tärkein energianlähde (Saltin & Karlsson 1971). Nopea glykogeenin käyttö aiheuttaa kasvun sekä veren (Osnes & Hermansen 1972) että lihaksen (Sahlin ym. 1976) vetyionikonsentraatiossa, jolloin pH siis laskee. Tämä intensiteetti on tehokas VO_{2max} :in parantamiseen intervallityyppisessä harjoittelussa (Jones & Carter 2000). Mikäli tällä teholla harjoitellaan tarpeeksi pitkään, vetyionikonsentraation kasvu heikentää glykolyysin ja glykogenolyysin entsyymejä ja häiritsee lihaksen supistumista, jolloin suorituskyky laskee (Green 1978).

3 SUBMAKSIMAALINEN KESTÄVYYSSUORITUSKYKY

Kestävyys suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat maksimaalinen hapenottokyky, pitkäaikainen aerobinen kestävyys, suorituksen taloudellisuus sekä hermo- ja lihaskudoksen suorituskykyisyys. Kestävyys osa-alueet on nimetty seuraavasti: peruskestävyys, vauhtikestävyys, maksimikestävyys ja nopeuskestävyys. Perus- (PK) ja vauhtikestävyys (VK) välillä on aerobinen kynnyksen ja vauhti- sekä maksimikestävyys välillä on anaerobinen kynnyksen (kuva 4). (Nummela 2004, 51.)



KUVA 4. Kestävyys osa-alueet (Nummela, 2004, 51).

Pitkäaikaista aerobista kestävyyttä, eli submaksimaalista kestävyys suorituskykyä, voidaan kuvata aerobisella ja anaerobisella kynnyksellä. Kynnykset perustuvat lihaksen energia-aineenvaihdunnan muutoksiin suorituksen tehon muuttuessa. Suoritustehon lisääntyessä anaerobisen energiantuoton osuus kasvaa. (Nummela 2004, 52.) Matala suoritusteho ja pitkäkestoinen suorituskyky sekä kestävyys harjoittelusta sen sijaan lisäävät aerobisen energiantuoton osuutta suorituksessa (Mero 2004, 104).

Aerobinen kynnyksen on määritetty olevan suurin energiankulutuksen taso jolloin tuotettua laktaattia pystytään eliminoimaan maksassa, sydänlihaksessa ja luurankolihasissa niin paljon että pitoisuus ei nouse yli lepotason. Aerobisen kynnyksen jälkeen laktaatin tuotto ja eliminaatio eivät enää pysy tasapainossa vaan veren laktaattipitoisuudessa tapahtuu jyrkähkö nousu. Tätä kutsutaan anaerobiseksi kynnykseksi ja sen on määritetty olevan suurin työteho ja energiankulutuksen taso, jossa veren laktaattipitoisuus ei kasva koko suorituksen ajan. (Nummela 2004, 52.)

Keskimäärin urheilija pystyy noin tunnin mittaiseen yhtäjaksoiseen suoritukseen anaerobisella kynnyksellä. Anaerobista kynnystä voidaan parantaa harjoittelemalla VK-alueella. Harjoittelun onnistumisen huomaa harjoitusvauhdin kasvuna tietyllä syketasolla, sekä anaerobisen kynnyssykkeen hienoisena kasvuna. (Nummela 2004, 76.)

Aerobista kynnystä voidaan kehittää harjoittelemalla lähellä, tai hieman alle, aerobisen kynnyksen. Tällaista harjoittelua kutsutaan PK-harjoitteluksi. VK- ja PK-harjoittelun suurimmat erot ovat energiantuotossa. PK-harjoittelussa rasvojen käyttö energianlähteenä on noin 50 % ja VK-harjoittelussa alle 30 %. Loput energiasta tuotetaan hiilihydraateista. PK-harjoittelu kehittää suorituksen taloudellisuutta alle aerobisen kynnyksen nopeuksilla ja VK-harjoittelu puolestaan kehittää taloudellisuutta kynnyksen välisellä alueella. (Nummela 2004, 77.)

Suorituksen taloudellisuudesta kertoo hapenkulutus tiettyä vakiokuormaa kohti. Mitattua hapenkulutusta verrataan työn vaatimaan teoreettiseen hapenkulutukseen. Taloudellisuuden yksikkönä käytetään l/min tai ml/kg/min. (Bailey & Pate 1991.) Yksikkö ml/kg/min on yleinen erityisesti juoksussa, jolloin kehoa joudutaan kannattelemaan (Nummela 2004, 55).

Hapenkulutuksen tarve riippuu energiamäärästä joka tarvitaan kyseisen vastuksen voittamiseksi ja energiamäärästä joka tarvitaan tämän energian (ATP) tuottamiseen. Taloudellisuuden parantamiseksi, työhön tarvittava energiamäärä työskenteleviin lihaksiin on tuotettava pienemmällä energiamäärällä koko kehossa. (Bailey & Pate 1991.) Henkilöt joilla on parempi taloudellisuus kuluttavat vähemmän happea samalla nopeudella kuin henkilöt, joilla on heikompi taloudellisuus (Johnston ym. 2007; Thomas ym. 1999).

Lihasten oksidatiivisen kapasiteetin kehittyminen, muutokset motoristen yksiköiden toiminnassa sekä parantunut suoritustekniikka parantavat taloudellisuutta. Taloudellisuuden kehittymisestä kertovat alentunut syke ja ventilaatio samalla harjoitusintensiteetillä. (Franch ym. 1998.) Taloudellisuus kehittyy hyvin spesifisti eli juuri niillä nopeuksilla ja siinä lihastyössä mitä harjoitetaan (Nummela 2004, 77).

Taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat (Bailey & Pate 1991):

- Ikä
- Massan jakautuminen
- Biomekaaniset muuttujat
- Syke
- VO₂max
- Ventilaatio
- Lämpötila
- Mieliala
- Harjoitustila
- Väsymys

3.1 Voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutus submaksimaaliseen kestävyysuorituskykyyn

Kestävyys- ja voimaharjoittelun yhdistämisestä ja sen vaikutuksesta submaksimaaliseen suorituskykyyn on lukuisia tutkimuksia, mutta tulokset ovat ristiriitaisia. Näyttäisi kuitenkin siltä, että voimaharjoittelulla on mahdollista parantaa taloudellisuutta ja näin submaksimaalista suorituskykyä.

Hicksonin ym. (1988) tutkimuksessa 10 viikon harjoitusjaksolla kestävyysharjoittelun lisäksi suoritettiin maksimivoimaharjoittelua kolme kertaa viikossa. Tutkimuksessa maksimaalinen hapenottookyky säilyi muuttumattomana, mutta pitkäaikainen kestävyysuorituskyky (80 % VO_{2max}:sta) parantui merkittävästi. Marcininikin ym. (1991) tutkimuksessa tutkittiin 12 viikon voimaharjoittelujakson vaikutuksia taloudellisuuteen harjoittelemattomilla henkilöillä. Submaksimaalisella 75 %:n teholla VO_{2max}:sta suoritettua uupumukseen asti suoritettua kestävyysuorituksen aika piteni 33 %:lla ja aerobinen kynnys nousi tutkimuksen aikana 12 %. Kehittynyt suorituskyky voi johtua hitaiden lihassolujen käytön lisääntymisestä ja nopeiden lihassolujen käytön vähenemisestä. Tämä taas johtaa energiankulutuksen laskuun ja glykogeenin säästöön, jolloin väsymys viivästyy ja suorituskyky paranee. (Hicson ym, 1988; Marcinik ym. 1991.)

Bell ym. (1997) tutkivat yhdistetyn harjoittelun vaikutuksia soutajien aerobiseen kestävyysuuteen. Tutkimuksessa todettiin anaerobisen kynnyksen ja maksimaalisen

hapenottokyvyn kehittyneen. Hoffin ym. (1999) tutkimuksessa todettiin hiihtäjillä suoritettuna yhdistetyn maksimivoima- ja kestävyysharjoittelun parantaneen anaerobista kynnystä sekä taloudellisuutta. Taloudellisuuden paraneminen todettiin alentuneena energiankulutuksena tasatyönnössä.

Paavolaisen ym. (1999) mukaan yhdistetty harjoittelu kehittää sekä suorituskykyä että taloudellisuutta. Suunnistajilla toteutetun yhdeksän viikon harjoittelujaksosta kolmasosa oli nopeusvoimaharjoittelua. Maksimihapenottokyky ei parantunut, mutta viiden kilometrin testijuoksun aika sekä taloudellisuus tietyllä submaksimaalisella kuormalla paranivat merkittävästi. Tutkijat totesivat suorituskyvyn kasvun johtuneen hermolihaskäytön tehostuneesta toiminnasta, joka taas selittää paremman taloudellisuuden. Johnston ym. (1997) tutkivat 10 viikon yhdistelmäharjoittelun vaikutuksia naisjuoksijoiden taloudellisuuteen. Maksimaalinen hapenotto ei kehittynyt, mutta voimatasot sekä taloudellisuus paranivat. Tutkijat pohtivat taloudellisuuden paranemisen johtuvan kasvaneista voimatasoista, minkä takia motorisia yksiköitä ei tarvita yhtä paljon voiman tuottamiseksi. Myös voimaharjoittelun vaikutukset juoksun mekaniikkaan sekä lihassolutyypin muutokset voivat selittää taloudellisuuden kasvua. Staronin ym. (1989) tutkimuksessa voimaharjoittelun vaikutuksesta tyypin IIB lihassolujen osuus väheni ja tyypin IIA kasvoi. Tämä parantaa oksidatiivista kapasiteettia ja näin kestävyys-suorituksen taloudellisuutta.

Yhdistetyllä harjoittelulla voi myös olla negatiivisia vaikutuksia kestävyys-suorituskykyyn verrattuna pelkkään kestävyysharjoitteluun. Nelsonin ym. (1990) tutkimuksessa oli kaksi ryhmää jotka harjoittelivat 20 viikkoa. Yhdistetyssä voima- ja kestävyysharjoitteluryhmässä VO_{2max} kehittyi heikommin kuin kestävyysharjoitteluryhmässä. Myös harjoittelujärjestys voi vaikuttaa tuloksiin mikäli kestävyys- ja voimaharjoittelu suoritetaan saman harjoituksen aikana (Collins & Snow 1993).

3.2 Happo-emästasapainon vaikutus submaksimaaliseen kestävyysuorituskykyyn

Elimistön emäksisyyttä lisäämällä on pystytty parantamaan sekä anaerobista että aerobista suorituskyyä. Tämä on tapahtunut parantuneen puskurointikyvyn myötä, jolloin happamuuden aiheuttama lihasväsymys viivästyy. (McArdle ym. 2001; 231, 570). Alkaloosin tehoon vaikuttaa suuresti suorituksen kesto ja kaikissa tutkimuksissa tätä alkaloosin hyötyjä ei ole pystytty osoittamaan. Yleisesti kuitenkin uskotaan, että elimistön happamuudesta on haittaa suorituskyyille. (Carr ym. 2011.)

Asidoosi. Kuten jo aiemmin on tullut ilmi, matalahiilihydraattisella ravinnolla veren pH on alhaisempi kuin korkeahiilihydraattisella ruokavaliolla (Greenhaff ym. 1987). Matalahiilihydraattinen ruokavalio aiheuttaa Greenhaffin ym. (1988) mukaan uupumuksen aikaisemmin kuin korkeahiilihydraattinen ruokavalio. Tämä osoitettiin maksimaalisessa polkupyöräergometritestissä. Matalahiilihydraattinen ruokavalio sisälsi paljon rasvaa sekä proteiinia. Tämä johti todennäköisesti heikentyneeseen puskurointikykyyn ja tämä edelleen heikentyneeseen suorituskyyyn.

Lihassolun pH:n laskiessa alle 6,9 fosfofruktokinaasin (glykolyysissä toimiva entsyymi) toiminta estyy jolloin glykolyysin toiminta ja samalla ATP:n tuotanto hidastuu. pH:n laskiessa alle 6,4:n glykolyysin toiminta lakkaa kokonaan. (Hultman ym. 1967; Wilmore & Costill 2004, 152.) Mm. Bergstrom ym. (1967) osoittivat 75 %:lla VO_{2max} :sta suoritettussa testissä väsymyksen johtuvan glykogeenivarastojen tyhjentymisestä. Asidoosissa myös lihassupistus heikkenee, sillä kalsiumin vapautuminen sarkoplasmisesta retikulumista estyy (Fuchs ym 1970; McNaughton & Thompson 2001) ja lihassupistuksen aikaansaavien poikittaissiltojen muodostuminen heikkenee (Mc-Naughton 2000).

Vetyionikonsentraation nousu vaikuttaa negatiivisesti lihastoiminnan lisäksi veren kuljetuskapasiteettiin. Veren muuttuessa happamammaksi, hapen sitoutuminen hemoglobiiniin heikkenee jolloin hapenkuljetuskapasiteetti pienenee. (Guyton & Hall 2000, 466, 468.)

Alkaloosi. Matalatehoisessa aerobisessa suorituksessa ei ole hyötyä vetyionikonsentraation laskusta ennen kuormitusta, sillä pH pysyttelee lähes lepotilan tasolla. Tehon kasvaessa tästä voi olla hyötyä, kun vetyioneja alkaa kasaantua elimistöön. (McArdle ym. 2001; 231, 570)

Natriumbikarbonaatilla ja natriumsitraatilla on pystytty nostamaan hetkellisesti veren pH:ta. Tämä taas on parantanut lyhyttä maksimaalista suorituskykyä ja nostanut maksimaalista veren laktaattipitoisuutta. Voi olla, että natriumbikarbonaatti parantaa solunulkoista puskurointikykyä ja tätä kautta glykolyysin toimintaa (Bishop ym. 2004).

Carrin ym. (2011) meta-analyysin mukaan natriumbikarbonaatin tai muiden vastaavien valmisteiden nauttimisesta ei ole hyötyä 10 minuuttia tai sitä pidempään kestävässä suorituksissa. Yhden minuutin suorituksessa hyöty on noin 2 prosentin luokkaa tai toistuvissa lyhyissä suorituksissa jopa suurempi. Galloway ja Maughan (1996) mukaan natriumbikarbonaatin nauttimisesta voi olla submaksimaalisessa suorituksessa jopa pienoista haittaa. Tunnin mittaisessa 70 %:lla VO_{2max} :sta suoritettussa polkupyöräergometritestissä natriumbikarbonaatin nauttiminen aiheutti korkeamman hapenkulutuksen kontrolliryhmään verrattuna. Työtehon ollessa molemmissa ryhmissä sama, tämä kertoo heikommasta taloudellisuudesta. Stephens ym. (2002) tutkimuksessa eroa hapenkulutuksessa ei havaittu kun testinä käytettiin tunnin pyöräilyä polkupyöräergometrillä 80 %:lla VO_{2max} :sta.

4 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Urheilussa ravinnolla ja happoemästasapainolla on suuri merkitys suorituskyvyn kannalta, joten emästä tuottavan ravinnon mahdolliset hyödyt pitää ottaa huomioon. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutuksia happo-emästasapainoon, laktaattiin ja submaksimaaliseen kestävyysuorituskykyyn emästä tuottavalla ravinnolla.

Tutkimusongelma 1: Onko ruokavaliolla yhteys veren tai virtsan pH-arvoon?

Hypoteesi 1: Emäksisyyttä tuottava ruokavalio nostaa veren ja virtsan pH:ta levossa 12 viikon ruokavaliomuutoksen seurauksena.

Perustelu: Muun muassa Greenhaffin ym. (1987 ja 1988) ja Remerin (2001) mukaan ravinnon koostumus vaikuttaa happo-emästasapainoon. Emäksinen ruokavalio muokkaa happo-emästasapainoa emäksiseen suuntaan (Galloway & Maughan 1996) ja korkea vehnä- ja proteiinipitoisuus taas lisää happojen muodostusta kehossa (Remer 2001).

Tutkimusongelma 2: Onko ruokavaliolla yhteys laktaatin tuottoon submaksimaalisessa aerobisessa kestävyysuorituksessa?

Hypoteesi 2: Laktaatin tuotto submaksimaalisessa aerobisessa kestävyysuorituksessa lisääntyy emäksisen ruokavaliion johdosta verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavaliioon.

Perustelu: Emäksinen ruokavalio lisää laktaatin tuottoa (Galloway & Maughan 1996.) ja alkaloosin onkin todettu nostavan veren laktaattipitoisuutta 70 % intensiteetillä maksimaalisesta hapenottokyvystä suoritettun kuormituksen aikana verrattuna neutraalissa tilassa suoritettuun saman tehoiseen kuormitukseen (Bouissou ym. 1988).

Tutkimusongelma 3: Onko ruokavaliolla yhteys submaksimaaliseen aerobiseen kestävyysuorituskykyyn?

Hypoteesi 3: Emäksinen ruokavalio ei paranna submaksimaalista aerobista kestävyysuorituskykyä verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavaliioon.

Perustelu: Yleisesti uskotaan, että elimistön happamuudesta on haittaa suorituskyvylle (Carr ym. 2011.) ja lyhyissä maksimaalisissa suorituksissa tämä on pysytty myös osoit-

tamaan (Greenhaff ym. 1988). Carrin ym. (2011) meta-analyysin mukaan natriumbikarbonaatin tai muiden vastaavien alkaloosia aiheuttavien valmisteiden nauttimisesta ei ole hyötyä 10 minuuttia tai sitä pidempään kestävässä suorituksissa. Matalatehoisessa aerobisessa suorituksessa ei ole hyötyä alhaisesta vetyionikonsentraatiosta, sillä pH pysyy lähes lepotilan tasolla (McArdle ym. 2001; 231.)

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

5.1 Koehenkilöt

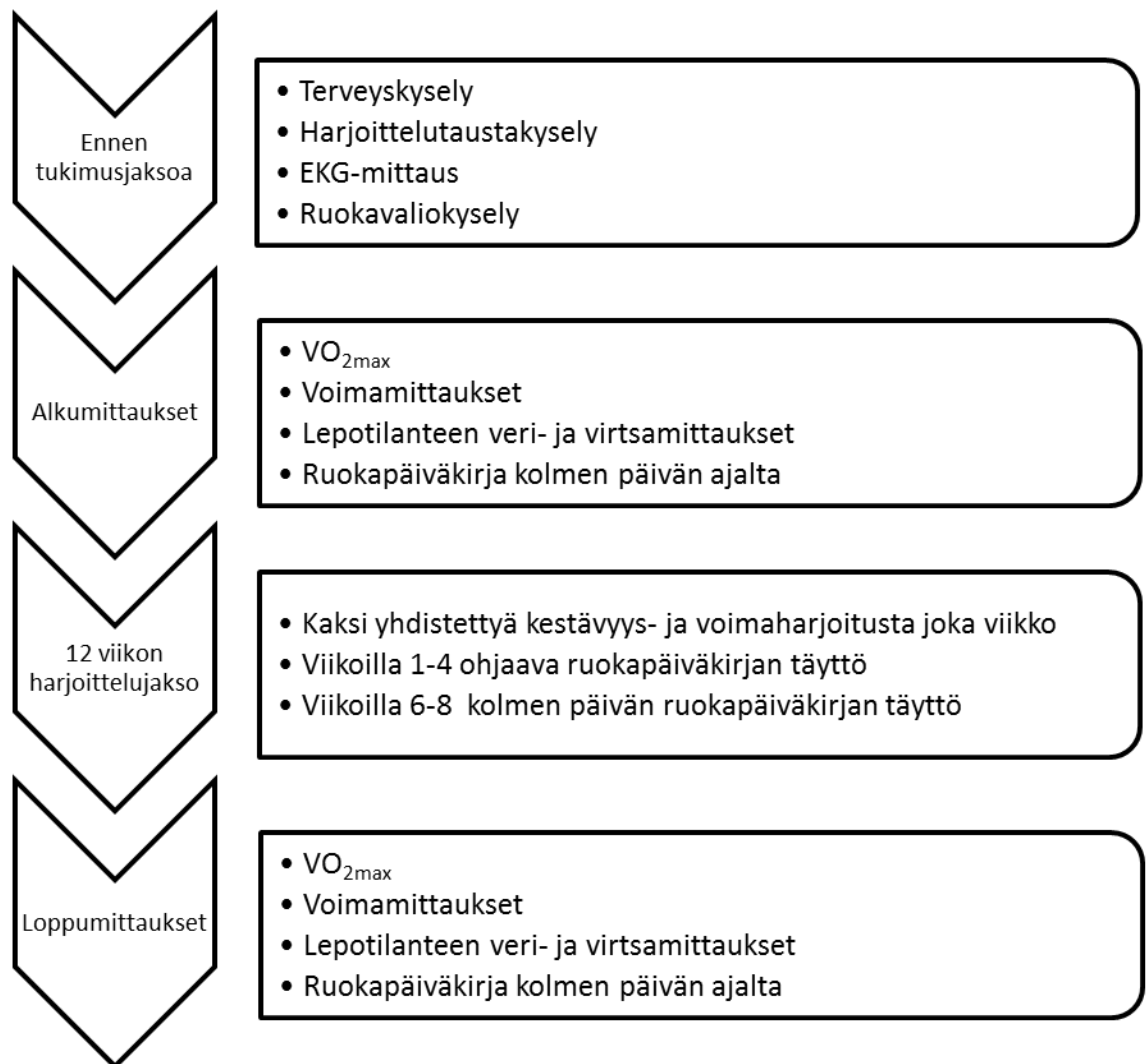
Tutkimukseen osallistui 49 kuntoliikunnan harrastajaa. Koehenkilöt olivat 18 - 40-vuotiaita ja heistä 24 oli miehiä ja 25 naisia. Heidät jaettiin neljään ryhmään sukupuolen ja ruokavalion mukaan. Nämä ryhmät olivat miesten hapanryhmä, miesten emäsryhmä, naisten hapanryhmä ja naisten emäsryhmä. Ryhmien tiedot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Koehenkilöryhmien ikä (v), pituus (cm), paino (kg) ja painoindeksi (BMI; kg/m²) keskiarvoina ja näiden keskihajonnat.

	Miesten hapanryhmä (n=13)	Miesten emäsryhmä (n=11)	Naisten hapanryhmä (n=12)	Naisten emäsryhmä (n=13)
Ikä (v)	30 ± 6	30 ± 8	31 ± 6	33 ± 7
Pituus (cm)	176 ± 6	179 ± 7	166 ± 6	167 ± 7
Paino (kg)	78,6 ± 9,9	85,8 ± 9,6	65,3 ± 10,9	64,2 ± 7,5
BMI (kg/m ²)	25,2 ± 2,4	26,8 ± 3,4	23,6 ± 3,4	23,0 ± 3,5

5.2 Koeasetelma

Tutkimuksen alussa koehenkilöt jaettiin kahteen ravinnoltaan erilaiseen ryhmään ja vielä sukupuolittain omiin ryhmiinsä. Emäsryhmän ruokavalio oli kasvispainotteinen ja se koostui lähes kokonaan ruoka-aineista jotka oli arvioitu elimistön emästen tuottoa lisääväksi. Hapanryhmä söi muuten ravitsemussuositusten mukaisesti, mutta heidän kasvien saantiaan oli rajoitettu. Tutkimus sisälsi 12 viikon ohjatun harjoittelujakson, jonka aikana molempien ryhmienkoehenkilöt tekivät kaksi yhdistettyä kestävyys- ja voimaharjoitusta (45 - 60 min + 45 - 60 min) viikossa liikuntabiologian laitoksen tiloissa. Harjoittelu oli nousujohteista. Varsinaiset mittaukset suoritettiin ennen harjoittelujaksoa ja sen jälkeen. Mittaukset sisälsivät maksimaalisen hapenottokyvyn testin polkupyöräergometrillä, submaksimaalisen polkupyöräergometritestin sekä paastoverikokeen ja virtsanäytteen. Alku- ja loppumittaukset sisälsivät täysin samat mittaukset. Koeasetelma on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Tutkimuksen koeasetelma.

5.2.1 Ravinto

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. Kolmas ruokapäiväkirja ajoittui tutkimusjakson loppuun, 12 harjoitusviikon jälkeen suoritetun mittausjakson kolmelle ensimmäiselle päivälle. Paastovirtsanäytteet (12 h) kerättiin ennen ruokapäiväkirjan täytön aloittamista ja heti täytön jälkeen. Ruokapäiväkirjoihin merkittiin kaikki kolmen päivän aikana syödyt ja juodut ruoat ja juomat mahdollisimman tarkasti. Kaksi tutkimusjakson jälkimmäistä ruokapäiväkirjaa analysoitiin NutriFlow-ravintolaskentaohjelmalla.

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 tutkimusruokavalion 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 ruokavalion aikana nautittavista aterioista, joista he saivat valita haluamansa. Aterioita sai muokata kummallekin ruokavaliolle asetettujen raamien puitteissa. Myös suositelluista ruoka-aineista annettiin lista, ja molempiin ruokavalioihin 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.

Hapanryhmän ravinto. Hapanryhmän ruokavalio pyrittiin pitämään ravitsemussuosituksen mukaisena, mutta kasvisten, hedelmien ja marjojen päivittäinen saanti ohjeistettiin 100–120 grammaan päivässä.

Emäsryhmän ravinto. Emäsryhmän ruokavalio koostui suureksi osaksi kasviksista, hedelmistä ja marjoista. Heitä ohjeistettiin syömään niitä päivän aikana vähintään 1000

g, mutta tavoitesaanti oli 1500 g päivässä. Jokaisella pääateriaalla 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 rajoitettua. Lihan vuorokausiannoksen yläraja määritettiin siten, että koehenkilön paino kerrottiin 0,002:lla (esim. paino 65 kg x 0,002=130 g, jolloin lihaa sai syödä enintään 130 g päivässä). Salaatin kanssa neuvottiin käyttämään öljypohjaista salaatinkestikettä 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 jogurtia 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.

5.2.2 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 kestävyysosioilla ja jatkui voimaosioilla. 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 3 on esitetty ohjelmoinnin yleisrakenne. Ennen varsinaista harjoitusjaksoa oli ns. perehdyttämisjakso, jolloin opeteltiin eri harjoitteiden tekeminen ja suoritettiin alkutestit. Mittaukset toistettiin harjoittelujakson jälkeen.

Taulukko 3. Harjoittelujakson ohjelmoinnin perusrakenne

Viikot	Kestävyysharjoitukset		Voimaharjoitukset		
	Intensiteetti	Kesto (min)	Harjoitteet	Intensiteetti (% maksimista)	Kesto (min)
1	PK	30	Lihaskestävyys	40-60	50
2-4	PK	30	Lihaskestävyys	40-60	50
5-8	PK	30-45	Hypertrofia	70-85	60
9-10	PK/VK/MK	45-50	Hypertrofia/MV	75-90	70
11-12	PK/VK/MK	50	MV	90-95	50

PK = peruskestävyys; VK = vauhtikestävyys; MK = maksimikestävyys; MV = maksimivoima.

Kaikki harjoitukset tehtiin sykeohjatusti eri intensiteeteillä maksimaalisen polkupyöräergometritestin perusteella määritettyjen kynnyssykkeiden mukaisesti. Sykettä mitattiin sykemittarilla (Polar 610i, Polar Electro) ja kaikki harjoitukset olivat ohjattuja ja kontrolloituja.

5.3 Aineiston keräys ja analysointi

Maksimaalinen hapenottokyky mitattiin tutkimuksessa polkupyöräergometrillä suoritettavalla suoralla maksimaalisen hapenottokyvyn testillä. Testi poljettiin Ergoline Ergometrics 800 polkupyöräergometrillä ja hengityskaasuja mitattiin Oxygon Pro (Jaeger, VIASYS Healthcare GmbH) hengityskaasuanalysointorilla. Testin aikana mitattiin myös sykettä ja laktaattia (Biosen C-line, EKF Diagnostic) sekä arvioitiin kuormituksen kokemista Borgin asteikon avulla (RPE, Rate of Perceived Exertion).

Kun polkupyöräergometri 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 kuormaa 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 kuorman 15 viimeisen sekunnin keskiarvona ja laktaatti mitattiin sormenpääverenäytteestä kuorman lopussa.

5.4 Tilastolliset menetelmät

Tilastollinen analysointi suoritettiin Microsoft Excel 2007 (Microsoft Corporation, US) ja SPSS 18.0 (SPSS Inc., US) -ohjelmilla. Tilastollisissa analyyseissä käytettiin keskiarvoja, keskihajontoja, paritonta t-testiä ja Pearsonin korrelaatiokerrointa. Tilastollisen merkitsevyyden raja oli $p < 0.05$ (*).

6 TULOKSET

Ravinto. Hapan- ja emäsryhmien väliltä löytyi absoluuttisessa ravinnon saannissa tilastollisesti merkitseviä eroja vain kasvisten saannissa harjoittelujakson puolivälissä ja harjoittelujakson lopussa. Miesten hapanryhmä sai harjoittelujakson puolivälissä 651 grammaa (hapan: 247 ± 250 vs. emäs: 898 ± 302 ; $p < 0.001$) ja harjoittelujakson lopussa 677 grammaa (hapan: 226 ± 96 vs. emäs: 803 ± 380 ; $p < 0.001$) vähemmän kasviksia kuin emäsryhmä. Koehenkilöiden massaan suhteutetuista arvoista miesten hapanryhmä sai harjoittelujakson puolivälissä 0,4 g/kg enemmän proteiinia (hapan: $1,4 \pm 0,5$ vs. emäs: $1,0 \pm 0,3$; $p < 0.05$) ja rasvaa (hapan: $1,2 \pm 0,4$ vs. emäs: $0,8 \pm 0,3$; $p < 0.05$) kuin emäsryhmä. Lisäksi miesten hapanryhmä sai vähemmän kasviksia painokiloa kohden kuin emäsryhmä sekä harjoittelujakson puolivälissä (hapan: $3,5 \pm 3,4$ vs. emäs: $10,6 \pm 4,1$; $p < 0.001$), että harjoittelujakson lopussa (hapan: $2,8 \pm 1,1$ vs. emäs: $10,5 \pm 5,1$; $p < 0.05$). Miesten tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Miesten ruokapäiväkirjoista lasketut keskiarvot \pm keskihajonnat harjoittelujakson alussa (pre), harjoittelujakson puolivälissä (mid) ja harjoittelujakson lopussa (post). Arvot on esitettyinä absoluuttisina määrinä (kcal ja g) ja suhteutettuna koehenkilöiden massaan (kcal/kg ja g/kg).

Miehet	Hapan-ryhmä pre	Emäs-ryhmä pre	Hapan-ryhmä mid	Emäs-ryhmä mid	Hapan-ryhmä post	Emäs-ryhmä post
Energia (kcal)	2233 ± 603	2724 ± 840	2207 ± 647	1930 ± 571	2184 ± 686	1930 ± 520
Energia (kcal/kg)	28.8 ± 8.0	32.1 ± 11.0	29.8 ± 8.5	23.1 ± 8.7	27.8 ± 8.4	24.6 ± 7.4
Hiilihydraatit (g)	227 ± 67	286 ± 107	237 ± 72	190 ± 80	246 ± 80	208 ± 124
Hiilihydr. (g/kg)	2.9 ± 0.9	3.4 ± 1.5	3.2 ± 0.9	2.2 ± 1.0	3.1 ± 0.9	2.5 ± 1.7
Proteiinit (g)	102 ± 35	131 ± 62	107 ± 35	82 ± 25	110 ± 30	91 ± 15
Proteiinit (g/kg)	1.3 ± 0.5	1.5 ± 0.7	1.4 ± 0.5	$1.0 \pm 0.3^*$	1.4 ± 0.4	1.1 ± 0.2
Rasvat (g)	92 ± 31	104 ± 32	87 ± 33	66 ± 21	73 ± 30	60 ± 20
Rasvat (g/kg)	1.2 ± 0.4	1.2 ± 0.4	1.2 ± 0.4	$0.8 \pm 0.3^*$	0.9 ± 0.4	0.8 ± 0.3
Kasvikset (g)	287 ± 243	280 ± 144	247 ± 250	$898 \pm 302^{***}$	226 ± 96	$803 \pm 380^{**}$
Kasvikset (g/kg)	3.9 ± 3.4	3.3 ± 1.8	3.5 ± 3.4	$10.6 \pm 4.1^{***}$	2.8 ± 1.1	$10.5 \pm 5.1^*$

Tilastollisesti merkitsevä ero hapan- ja emäs-ryhmän välillä samassa ruokapäiväkirjan täyttöpisteessä, * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$; *** = $p < 0.001$.

Naisten tulokset olivat samansuuntaisia kuin miesten. Absoluuttisessa ja massaan suhteutetussa ravinnonsaannissa eroja oli vain kasvisten saannissa. Naisten hapanryhmä sai harjoittelujakson puolivälissä 718 g (hapan: 209 ± 159 vs. emäs: 927 ± 307 ; $p < 0.001$) ja harjoittelujakson lopussa 802 g (hapan: 264 ± 273 vs. emäs: 1066 ± 634 ;

$p < 0.001$) vähemmän kasvikia kuin emäsryhmä. Massaan suhteutettuna hapanryhmä sai vähemmän kasvikia kuin emäsryhmä harjoittelujakson alussa (hapan: $4,1 \pm 1,4$ vs. emäs: $6,5 \pm 3,6$; $p < 0.05$), harjoittelujakson puolivälissä (hapan: $3,1 \pm 2,5$ vs. emäs: $14,6 \pm 5,3$; $p < 0.001$) ja harjoittelujakson lopussa (hapan: $4,2 \pm 4,4$ vs. emäs: $18,0 \pm 10,8$; $p < 0.001$). Naisten tulokset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Naisten ruokapäiväkirjoista lasketut keskiarvot \pm keskihajonnat harjoittelujakson alussa (pre), harjoittelujakson puolivälissä (mid) ja harjoittelujakson lopussa (post). Arvot on esitettyinä absoluuttisina määrinä (kcal, g) ja suhteutettuna koehenkilöiden massaan (kcal/kg, g/kg).

Naiset	Hapanryhmä pre	Emäsryhmä pre	Hapanryhmä mid	Emäsryhmä mid	Hapanryhmä post	Emäsryhmä post
Energia (kcal)	1905 \pm 297	2007 \pm 378	2959 \pm 610	1880 \pm 365	1870 \pm 342	1856 \pm 500
Energia (kcal/kg)	30.0 \pm 5.9	32.1 \pm 6.7	31.9 \pm 12.3	29.4 \pm 7.1	27.6 \pm 5.8	29.6 \pm 10.1
Hiilihydraatit (g)	233 \pm 44	223 \pm 56	233 \pm 79	230 \pm 41	215 \pm 48	238 \pm 67
Hiilihydr. (g/kg)	3.6 \pm 0.7	3.6 \pm 0.9	3.8 \pm 1.6	3.6 \pm 0.8	3.2 \pm 0.8	3.8 \pm 1.3
Proteiinit (g)	74 \pm 12	83 \pm 27	84 \pm 25	70 \pm 11	78 \pm 16	69 \pm 11
Proteiinit (g/kg)	1.2 \pm 0.2	1.3 \pm 0.5	1.4 \pm 0.5	1.1 \pm 0.2	1.1 \pm 0.2	1.1 \pm 0.3
Rasvat (g)	68 \pm 20	80 \pm 19	72 \pm 28	71 \pm 26	70 \pm 23	66 \pm 46
Rasvat (g/kg)	1.1 \pm 0.4	1.3 \pm 0.3	1.2 \pm 0.5	1.1 \pm 0.4	1.0 \pm 0.4	1.0 \pm 0.8
Kasvikset (g)	249 \pm 75	396 \pm 203	209 \pm 159	927 \pm 307***	264 \pm 273	1066 \pm 634***
Kasvikset (g/kg)	4.1 \pm 1.4	6.5 \pm 3.6*	3.1 \pm 2.5	14.6 \pm 5.3***	4.2 \pm 4.4	18.0 \pm 10.8***

Tilastollisesti merkitsevä ero hapan- ja emäs-ryhmän välillä samassa ruokapäiväkirjan täyttöpisteessä, * = $p < 0.05$; *** = $p < 0.001$.

Veren ja virtsan pH sekä bikarbonaattipitoisuus lepotilanteessa. Hapan- ja emäsryhmien väliltä ei miehillä löytynyt alku- tai loppumittauksissa tilastollisesti merkitseviä eroja veren pH:ssa, virtsan pH:ssa tai veren bikarbonaattipitoisuudessa. Naisten hapanryhmällä virtsan pH oli loppumittauksissa alhaisempi kuin emäsryhmällä (hapan: $5,56 \pm 0,72$ vs. emäs: $6,35 \pm 0,98$; $p < 0.05$). Veren pH:ssa tai veren bikarbonaattipitoisuudessa ei löytynyt naisillakaan tilastollisesti merkitseviä eroja alku- tai loppumittauksissa. Emäs- ja hapanryhmien sisällä ei tapahtunut muutoksia alku- (pre) ja loppumittausten (post) välillä kummallakaan sukupuolella, eivätkä alku- ja loppumittausten väliset muutokset eronneet tilastollisesti merkitsevästi ryhmien välillä kummallakaan sukupuolella. Miesten tulokset on esitetty taulukossa 6 ja naisten tulokset taulukossa 7.

Taulukko 6. Miehillä levossa mitatut veren ja virtsan pH sekä veren bikarbonaattipitoisuus (HCO₃⁻) alku- (pre) ja loppumittauksissa (post).

Miehet	Hapan pre	Emäs pre	Hapan post	Emäs post
Veren pH	7.41 ± 0.01	7.42 ± 0.01	7.41 ± 0.17	7.42 ± 0.17
Virtsan pH	5.66 ± 0.41	5.83 ± 0.33	5.75 ± 0.72	5.67 ± 0.73
Veren HCO ₃ ⁻ (mmol/l)	25.82 ± 1.63	27.04 ± 1.37	26.40 ± 1.24	27.16 ± 1.40

Taulukko 7. Naisilta levossa mitatut veren ja virtsan pH sekä veren bikarbonaattipitoisuus (HCO₃⁻) alku- (pre) ja loppumittauksissa (post).

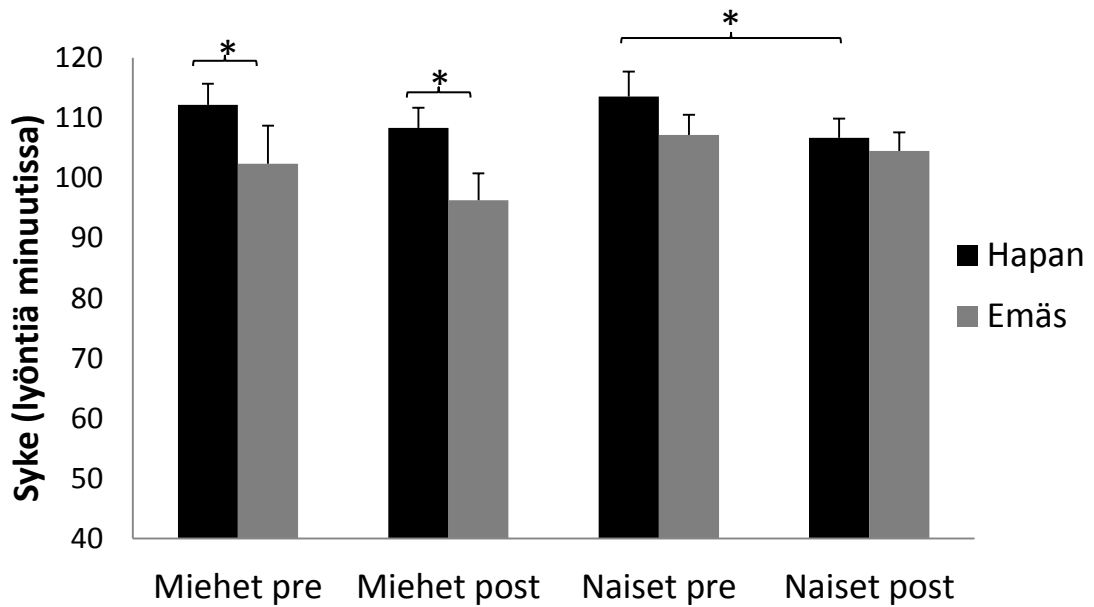
Naiset	Hapan pre	Emäs pre	Hapan post	Emäs post
Veren pH	7.42 ± 0.03	7.42 ± 0.03	7.42 ± 0.03	7.43 ± 0.03
Virtsan pH	5.90 ± 0.87	6.02 ± 0.75	5.56 ± 0.72	6.35 ± 0.98*
Veren HCO ₃ ⁻ (mmol/l)	24.8 ± 1.96	25.32 ± 1.37	25.46 ± 1.36	25.46 ± 1.36

Tilastollisesti merkitsevä ero hapan- ja emäs-ryhmän välillä samassa mittapisteessä, * = p<0.05

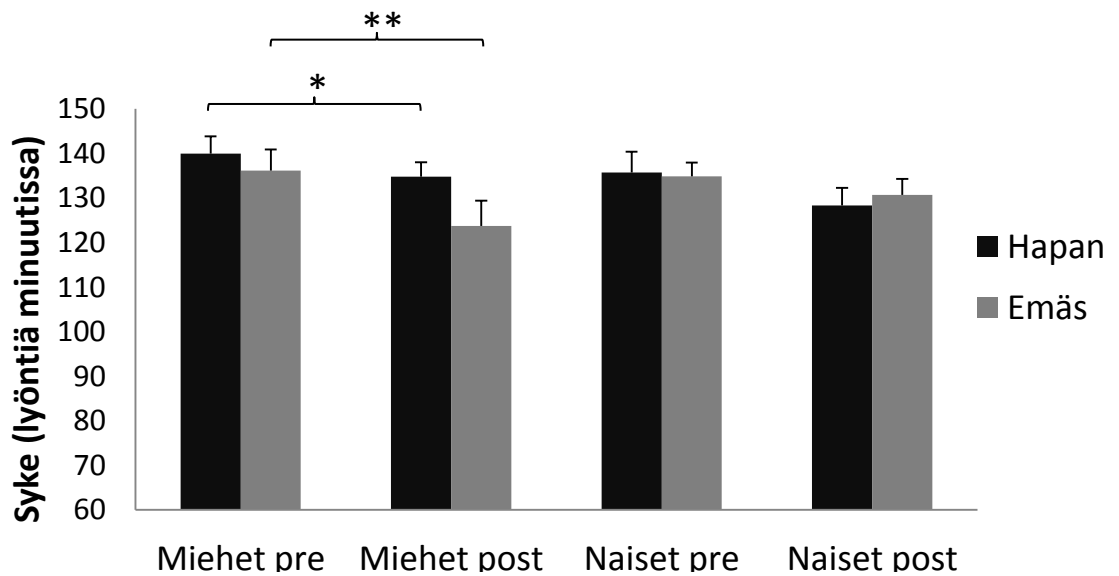
Submaksimaalisen pyöräilytestin sykkeet, veren laktaattipitoisuus sekä pH.

Submaksimaalisen pyöräilytestin sykkeistä löytyi tilastollisesti merkitseviä eroja emäs- ja hapanryhmän väliltä vain miehiltä. Ennen harjoittelua tehdyissä mittauksissa emäsryhmän syke 35 %:n kuormalla oli kymmenen lyöntiä minuutissa alempana kuin hapanryhmällä (hapan: 112 ± 4 vs. emäs: 102 ± 6; p<0.05) ja 75 %:n kuormalla 13 lyöntiä alempana (hapan: 172 ± 4 vs. emäs: 159 ± 5; p<0.05). Harjoittelun jälkeen emäsryhmän syke 35 %:n kuormalla oli 12 lyöntiä minuutissa hapanryhmää alempana (hapan: 108 ± 3 vs. emäs: 96 ± 4; p<0.05). Sykkeet submaksimaalisen pyöräilytestin kuormilla 35 %, 55 % ja 75 % maksimaalisesta hapenottokyvystä on esitetty kuvissa 6, 7 ja 8.

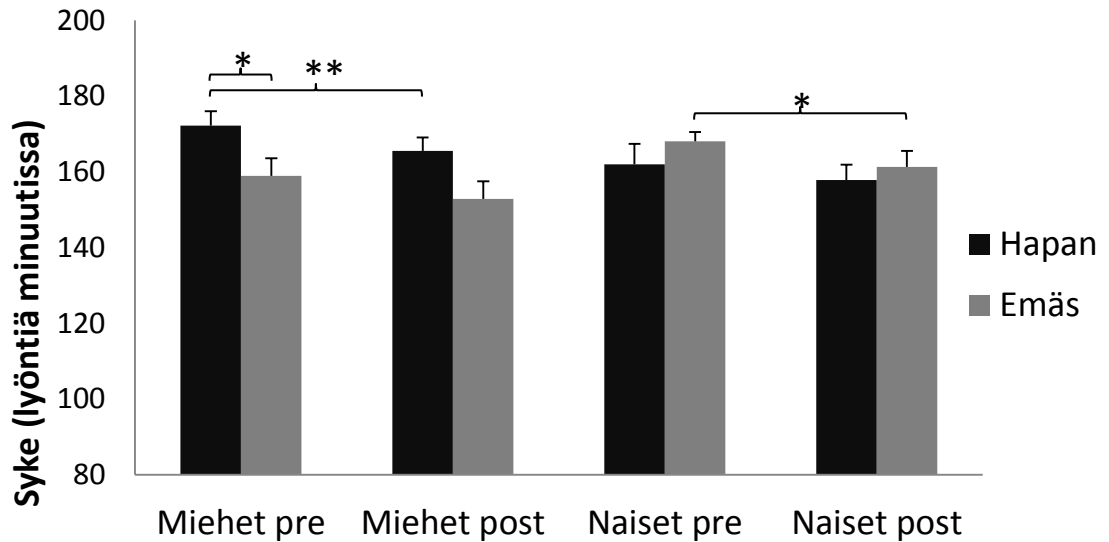
Ryhmien sisällä tilastollisesti merkitseviä eroja löytyi molemmilla sukupuolilla. Miesten hapanryhmän syke 55 %:n kuormalla oli harjoittelujakson jälkeen viisi lyöntiä minuutissa alempana kuin ennen harjoittelujaksoa (pre: 140 ± 4 vs. post: 135 ± 3; p<0.05) ja 75 %:n kuormalla kuusi lyöntiä alempana (pre: 172 ± 4 vs. post: 166 ± 4; p<0.01). Emäsryhmän syke 55 %:n kuormalla oli miesten osalta 12 lyöntiä minuutissa alempana harjoittelujakson jälkeen kuin ennen harjoittelujaksoa (pre: 136 ± 5 vs. post: 124 ± 6; p<0.01). Naisilla hapanryhmän syke 35 %:n kuormalla oli seitsemän lyöntiä alempana harjoittelun jälkeen kuin ennen harjoittelua (pre: 114 ± 4 vs. post: 107 ± 3; p<0.05) ja emäsryhmän syke 75 %:n kuormalla seitsemän lyöntiä alempana kuin ennen harjoittelua (pre: 168 ± 2 vs. post: 161 ± 4; p<0.05).



Kuva 6. Submaksimaalisessa pyöräilytestin sykkeet tehon ollessa 35 % henkilön maksimaalisesta hapenottokyvystä miesten ja naisten hapan- ja emäsryhmällä ennen harjoittelujaksoa (pre) ja sen jälkeen (post) (* = $p < 0.05$).



Kuva 7. Submaksimaalisessa pyöräilytestin sykkeet tehon ollessa 55 % henkilön maksimaalisesta hapenottokyvystä miesten ja naisten hapan- ja emäsryhmällä ennen harjoittelujaksoa (pre) ja sen jälkeen (post) (* = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$).



Kuva 8. Submaksimaalisessa pyöräilytestin sykkeet tehon ollessa 75 % henkilön maksimaalisesta hapenottokyvystä miesten ja naisten hapan- ja emäsryhmällä ennen harjoittelujaksoa (pre) ja sen jälkeen (post) (* = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$).

Alku- ja loppumittausten väliset muutokset eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi emäs- ja kasvisryhmän välillä kummallakaan sukupuolella. Yhteenveto sykkeistä on esitetty taulukossa 8 (merkitsevyydet edellä tekstissä ja kuvissa).

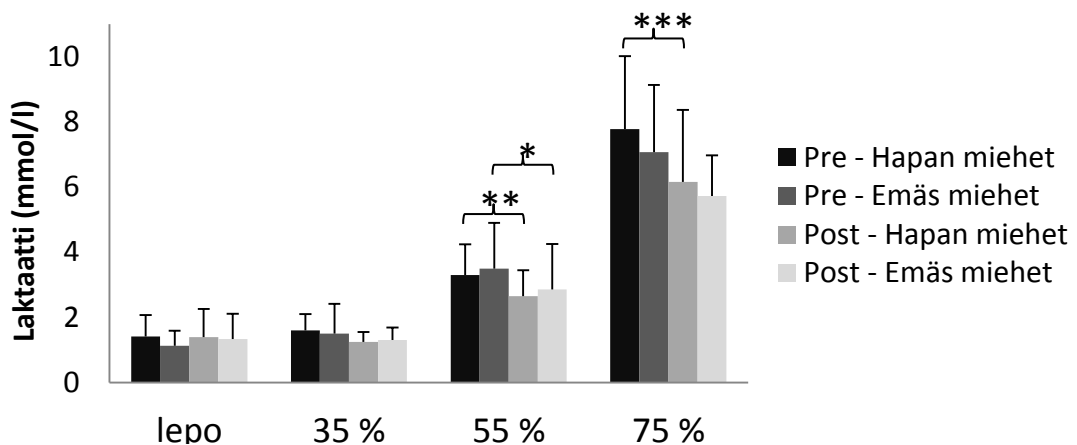
Taulukko 8. Miesten ja naisten hapan- ja emäsryhmän sykkeet submaksimaalisen polkupyörätestin eri kuormilla alku- (pre) ja loppumittauksissa (post).

		35 %	55 %	75 %
Miehet hapan	Pre	112 ± 4	140 ± 4	172 ± 4
	Post	108 ± 3	135 ± 3	166 ± 4
Miehet emäs	Pre	102 ± 6	136 ± 5	159 ± 5
	Post	96 ± 4	124 ± 6	153 ± 5
Naiset hapan	Pre	114 ± 4	136 ± 5	162 ± 5
	Post	107 ± 3	128 ± 4	158 ± 4
Naiset emäs	Pre	107 ± 3	135 ± 3	168 ± 2
	Post	105 ± 3	131 ± 4	161 ± 4

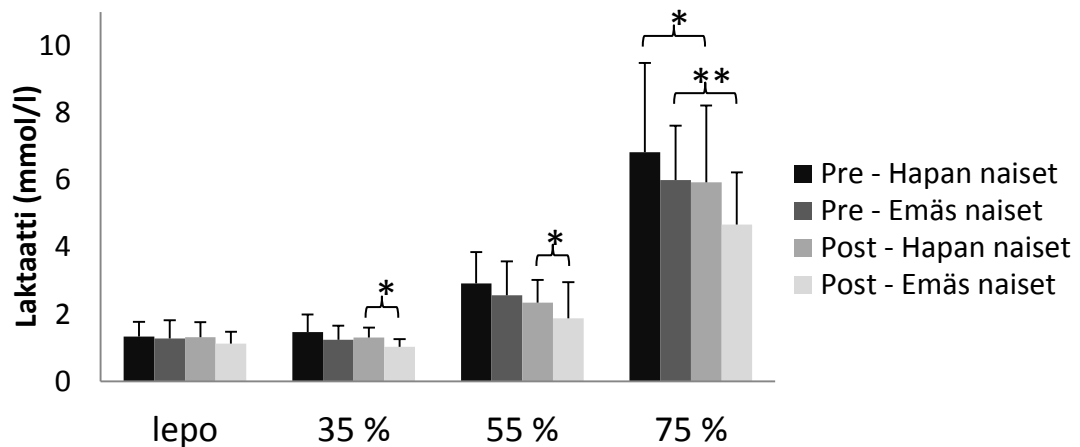
Submaksimaalisessa pyöräilytestissä mitatuista veren laktaattiarvoista luotiin tilastollista analysointia varten uusi muuttuja, jossa kaikista arvoista otettiin logaritmi. Logaritmimuunnos tehtiin, jotta muuttujan muotoon vino jakauma saatiin normalisoitua. Tällä uudella muuttujalla suoritettiin vertailu hapan- ja emäsryhmän välillä sekä ryhmien sisällä molemmilla sukupuolilla ja kaikilla kuormilla. Hapan- ja emäsryhmän

välillä oli tilastollisesti merkitseviä eroja ainoastaan naisilla. Naisten emäsryhmän veren laktaattiarvot olivat harjoittelujakson jälkeen hapanryhmää alhaisemmat 35 %:n (emäs: $1,03 \pm 0,23$ mmol/l vs. hapan: $1,30 \pm 0,30$ mmol/l; $p < 0,05$) ja 55 %:n (emäs: $1,87 \pm 1,08$ mmol/l vs. hapan: $2,35 \pm 0,67$ mmol/l; $p < 0,05$) kuormilla (Kuva 10).

Ryhmien sisällä tilastollisesti merkitseviä eroja oli niin miehillä, kuin naisillakin. Naisilla hapanryhmän veren laktaattipitoisuus 75 %:n kuormalla oli harjoittelujakson jälkeen alempana kuin ennen harjoittelua (pre: $6,82 \pm 2,67$ mmol/l vs. post: $5,93 \pm 2,29$ mmol/l; $p < 0,05$). Samansuuntainen ero löytyi emäsryhmästä samalla kuormalla (pre: $7,78 \pm 2,23$ mmol/l vs. post: $6,16 \pm 2,21$ mmol/l; $p < 0,01$). Miehillä hapanryhmän veren laktaattipitoisuus oli harjoittelujakson jälkeen alempana kuin ennen harjoittelua 55 %:n (pre: $3,30 \pm 0,95$ mmol/l vs. post: $2,65 \pm 0,79$ mmol/l; $p < 0,01$) ja 75 %:n kuormilla (pre: $7,78 \pm 2,23$ mmol/l vs. post: $6,16 \pm 2,21$ mmol/l; $p < 0,001$). Emäsryhmässä samansuuntainen ero löytyi 55 %:n kuormalla (pre: $3,49 \pm 1,41$ mmol/l vs. post: $2,86 \pm 1,39$ mmol/l; $p < 0,05$). Miesten veren laktaattiarvot on esitetty kuvassa 9. Alku- ja loppumittausten väliset muutokset eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi emäs- ja hapanryhmän välillä kummallakaan sukupuolella.

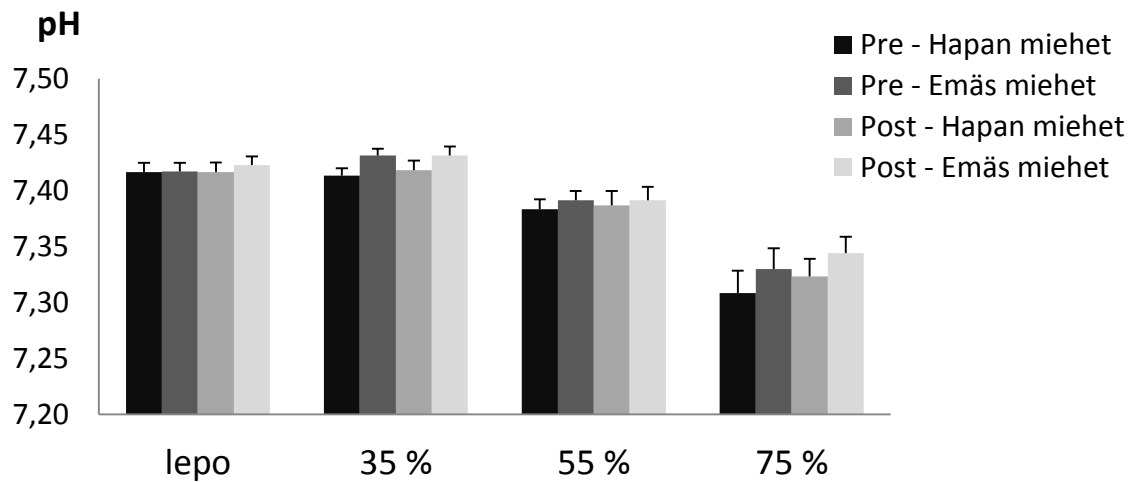


Kuva 9. Veren laktaattipitoisuus submaksimaalisessa polkupyörättestissä miehillä ennen harjoittelua (pre) ja sen jälkeen (post). Mittaukset on suoritettu juuri ennen testin alkua (lepo) ja jokaisen kuorman lopussa (35 %, 55 % ja 75 %). Tilastollinen analyysi on suoritettu logaritmisilla muuttujilla (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

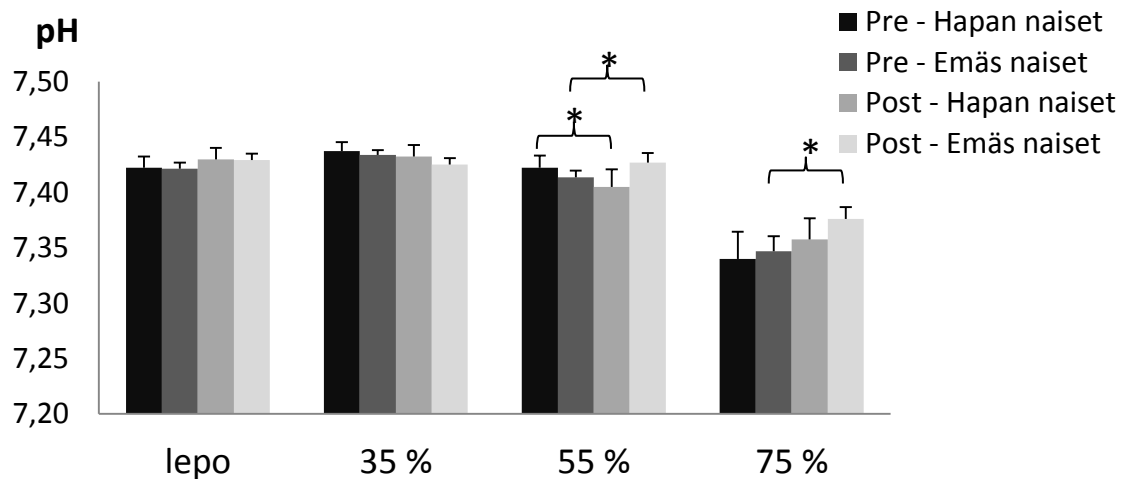


Kuva 10. Veren laktaattipitoisuus submaksimaalisessa polkupyörätestissä naisilla ennen harjoittelua (pre) ja sen jälkeen (post). Mittaukset on suoritettu juuri ennen testin alkua (lepo) ja jokaisen kuorman lopussa (35 %, 55 % ja 75 %). Tilastollinen analyysi on suoritettu logaritmisilla muuttujilla (* = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$).

Submaksimaalisessa pyöräilytestissä mitatuissa veren pH-arvoissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja alku- tai loppumittauksissa hapan- ja emäsryhmän välillä. Ryhmien sisällä eroja löytyi vain naisilla. Naisten hapanryhmän pH oli 55 %:n kuormalla harjoittelujakson jälkeen alhaisempi kuin ennen harjoittelua (pre: $7,423 \pm 0,011$ vs. post: $7,405 \pm 0,016$; $p < 0.05$). Emäsryhmällä saman kuorman muutos oli päinvastainen: Harjoittelujakson jälkeen veren pH oli korkeampi kuin ennen harjoittelujaksoa (pre: $7,414 \pm 0,006$ vs. post: $7,427 \pm 0,009$; $p < 0.05$). Emäsryhmällä myös 75 %:n kuormalla veren pH oli korkeampi harjoittelujakson jälkeen kuin ennen harjoittelujaksoa (pre: $7,347 \pm 0,014$ vs. post: $7,376 \pm 0,011$; $p < 0.05$). Miesten pH-arvot on esitetty kuvassa 11 ja naisten pH-arvot kuvassa 12. Alku- ja loppumittausten väliset muutokset eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi emäs- ja kasvisryhmän välillä kummallakaan sukupuolella.



Kuva 11. Submaksimaalisessa pyöräilytestissä mitatut veren pH-arvot miehillä ennen harjoittelua (pre) ja sen jälkeen (post). Mittaukset on suoritettu juuri ennen testin alkua (lepo) ja jokaisen kuorman lopussa (35 %, 55 % ja 75 %).



Kuva 12. Submaksimaalisessa pyöräilytestissä mitatut veren pH-arvot naisilla ennen harjoittelua (pre) ja sen jälkeen (post) (* = $p < 0.05$). Mittaukset on suoritettu juuri ennen testin alkua (lepo) ja jokaisen kuorman lopussa (35 %, 55 % ja 75 %).

7 POHDINTA

Päätulokset. Tutkimuksen päätuloksena oli, että emästä tuottava kasvispainotteinen normaaliproteiininen ruokavalio yhdessä 12 viikon yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun kanssa ei parantanut submaksimaalista suorituskykyä verrattuna happamuutta tuottavaan vähän kasviksia sisältäneeseen normaaliproteiiniseen ruokavalioon. Myöskään veren pH:n tai bikarbonaattipitoisuuden lepoarvoissa tai niiden muutoksissa ei ollut eroja emäs- ja hapanryhmän välillä missään mittauspisteessä. Ainoa ero ryhmien välillä löytyi virtsan pH:n lepoarvoissa. Naisten emäsryhmän virtsan pH oli loppumittauksissa korkeampi kuin hapanryhmällä (hapan: $5,56 \pm 0,72$ vs. emäs: $6,35 \pm 0,98$; $p < 0.05$). Miesten virtsan pH:ssa levossa ei ollut eroja ryhmien välillä. Aerobisessa submaksimaalisessa kuormituksessa naisten emäsryhmällä veren pH oli korkeampi harjoittelujakson lopussa kuin ennen sitä 55 %:n (pre: $7,414 \pm 0,006$ vs. post: $7,427 \pm 0,009$; $p < 0.05$) ja 75 %:n (pre: $7,347 \pm 0,014$ vs. post: $7,376 \pm 0,011$; $p < 0.05$) kuormilla. Miesten kuormituksen aikaisissa veren pH-arvoissa ei tapahtunut muutoksia.

Ravinto. Miesten emäsryhmä sai harjoittelujakson puolivälissä 898 g ja jakson lopussa 803 g kasviksia ja hedelmiä. Suositellusta 1 500 g:sta kasviksia ja hedelmiä päivää kohti jäätettiin siis 600–700 grammaa ja vähimmäissuosituksesta (1000 g) jäätettiin noin 100 - 200 g päivässä. Naisten emäsryhmällä vastaavat luvut olivat 927 g ja 1066 g, joten vähimmäissuositukseen ylettiin vain osittain. Lisäksi naisryhmien välillä oli melkoisen suuri ero jo ennen harjoittelua, sillä emäsryhmä nautti 150 g kasviksia päivässä enemmän kuin hapanryhmä. Tämä voi vähentää ruokavalion muutoksesta aiheutuvia happo-emästasapainon vasteita kehossa. Hapanryhmän kasvisten ja hedelmien päivittäinen saanti oli pyritty rajoittamaan 100–120 grammaan päivässä, mutta todellinen saanti oli noin 200–270 grammaa päivässä molemmilla sukupuolilla. Ruokavalion noudattaminen ei siis sujunut täysin ohjeiden mukaisesti. Lisäksi on täysin mahdollista, että muina päivinä ruokavaliota on noudatettu huonommin kuin päiväkirjoja kerätessä.

Proteiinien saanti laski naisten emäsryhmällä vain 14 grammaa ja vastaavasti hapanryhmällä nousi 4 grammaa vuorokautta kohden. Miehillä puolestaan, proteiinien saanti laski emäsryhmällä 40 g ja nousi hapanryhmällä 8 g. Proteiinin saantimuutokset olivat pieniä ja proteiinin saanti oli normaalilla ravintosuositusten tasolla, kuten oli suunniteltu.

Veren ja virtsan pH sekä bikarbonaattipitoisuus lepotilanteessa. Veren pH:ssa tai bikarbonaattipitoisuudessa ei lepotilanteessa ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri mittauspisteiden tai ryhmien välillä, kummallakaan sukupuolella. Virtsan pH:ssa sen sijaan naisten emäsryhmän virtsan pH oli loppumittauksissa korkeampi kuin hapanryhmällä (hapan: $5,56 \pm 0,72$ vs. emäs: $6,35 \pm 0,98$; $p < 0,05$). Miesten virtsan pH:ssa ei ollut eroja ryhmien välillä. Kuten esim. Greenhaff ym. (1987 ja 1988) ja Remer (2001) ovat todenneet, ravinnon koostumus vaikuttaa happo-emästasapainoon. Emäksisen ruokavalion tulisi muokata happo-emästasapainoa emäksiseen suuntaan (Galloway & Maughan 1996) ja korkean proteiinipitoisuuden taas pitäisi lisätä happojen muodostusta kehossa (Remer 2001). Aiempien tutkimustulosten ja tämän tutkimuksen ravitsemuspäiväkirjojen perusteella laskettujen ravintoaineiden saannin perusteella (taulukko 4) voidaankin todeta, että ruokavaliot miesten hapan- ja emäsryhmän välillä eivät ehkä eronneet tarpeeksi, jotta ryhmien välille olisi saatu eroja happo-emästasapainossa. Avoimeksi kysymykseksi jää usein keskusteltu miesten kyvykkyys pitää ruokapäiväkirjaa tutkimuksissa ja noudattaa tarkkoja ravinto-ohjeita. Nythän ravintojakso oli pitkä 12 viikkoa. Naisten tarkempi ruokavalion noudattaminen on varmasti tärkein syy naisten emäsryhmän virtsan pH:n nousuun. Erityisesti kasvisten määrä on naisten emäsryhmällä selvästi suurempi kuin miehillä, jolloin elimistön emäskuorma lisääntyy (Sebastian ym. 2002).

Submaksimaalisen pyöräilytestin suorituskyky ja veren laktaattipitoisuus sekä pH. Parannuksia submaksimaalisessa suorituskyvyssä 12 viikon harjoittelujakson aikana, alentuneen sykkeen muodossa, havaittiin molemmilla sukupuolilla ja ryhmillä. Naisilla ainoastaan hapanryhmän syke laski ja vain 35 %:n kuormalla. Miesten molempien ryhmien syke laski 55 %:n kuormalla, mutta vain hapanryhmän syke laski 75 %:n kuormalla. Emäsryhmistä ainoastaan miesten syke 55 %:n kuormalla oli laskenut harjoittelujakson aikana. Taloudellisuuden kehittymisestä kertoo alentunut syke samalla harjoitusintensiteetillä (Franch ym. 1998), jolloin näiden tulosten perusteella voidaan

todeta taloudellisuuden parantuneen molemmilla ryhmillä mutta hieman selvemmin hapanryhmällä.

Taloudellisuuden parantuminen yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun seurauksena on osoitettu esimerkiksi Hicksonin ym. (1988) toimesta. On myös yleistä, että taloudellisuus paranee enemmän kovemmalla intensiteetillä, kuten 75 % teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä (Marcinik ym. 1991). Naisilla taloudellisuuden parantuminen vain alhaisella teholla voi olla osoitus heidän suorittamastaan hyötyliikunnasta tutkimuksen ulkopuolella, sillä taloudellisuus paranee usein parhaiten sillä intensiteetillä, millä harjoittelukin tapahtuu (Nummela 2004, 77). Mikäli kovemmissa harjoitteissa, ei ole haluttu poistua omalta ”mukavuusalueelta” ei halutunlaista harjoitusintensiteettiä ole saavutettu ja harjoittelu on keskittynyt alemmille sykkeille.

Hapanryhmillä tapahtunut taloudellisuuden parantuminen useammilla kuormilla verrattuna emäsryhmään voi olla seurausta yksilötason erilaisista harjoitusvasteista. Tätä oletusta tukee tarkempi sykkeiden laskun tarkastelu. Emäsryhmän syke 55 %:n kuormalla oli miesten osalta 12 lyöntiä minuutissa alempana harjoittelujakson jälkeen kuin ennen harjoittelujaksoa. Hapanryhmällä muutokset eri kuormilla rajoittuivat 5-7 lyöntiin minuutissa. Matalatehoisessa aerobisessa suorituksessa ei näyttäisi olevan hyötyä alhaisesta vetyionikonsentraatiosta, sillä pH pysyttelee lähes lepotilan tasolla (McArdle ym. 2001; 231.). Tämä selittää ryhmien pienet erot taloudellisuuden muutoksissa. On kuitenkin otettava huomioon, että taloudellisuutta tarkasteltaessa syke on vahvasti yhteydessä taloudellisuuteen, mutta ei ole takuu taloudellisuuden paranemisesta. Tässä tutkimuksessa todettiin kuitenkin sykemittauksen riittävän, eikä testissä täten mitattu hapenkulutusta.

Laktaattipitoisuus submaksimaalisen pyöräilytestin eri kuormilla laski harjoittelujakson aikana sekä miehillä että naisilla, molemmilla ryhmillä ja useammalla kuormalla, mutta lepoarvoissa ei ollut muutoksia. Miesten hapanryhmältä mitattu laktaatti oli harjoittelujakson jälkeen alempana kuin ennen harjoittelua 55 ja 75 %:n kuormilla, mutta kasvisryhmällä vain 55 %:n kuormalla. Naisilla molempien ryhmien laktaatti oli 75 %:n kuormalla harjoittelujakson jälkeen alempana kuin ennen harjoittelua. Kun intensiteetti kasvaa tarpeeksi korkeaksi, laktaattia alkaa kertyä vereen, sillä aerobisesta

energiantuotosta joudutaan siirtymään anaerobiseen glykolyysiin jonka sivutuotteena syntyy maitohappoa (McArdle ym. 2010, 163 – 164). Alhaisempi laktaatti harjoittelujakson jälkeen tarkoittaa siis käytännössä sitä, että elimistö pystyy työskentelemään paremmin hapen avulla kuin ennen harjoittelua, jolloin hapettomaan energiantuottoon ei tarvitse turvautua niin paljoa. Ryhmien verestä mitattu laktaatti laski harjoittelujakson seurauksena tasaisesti molemmilla tyhmillä, mikä oli täysin odotettua. Tämä johtuu todennäköisesti laktaatin poiston tehostumisesta, sekä nopeiden lihassolujen vähentyneestä rekrytoinnista. Carrin ym. (2011) meta-analyysin mukaan alkaloosista ei ole hyötyä 10 minuuttia tai sitä pidempään kestävässä suorituksissa, mihin tämän tutkimuksen 3x8 min neljän minuutin palautuksilla tehty submaksimaalinen testi on verrattavissa.

Veren pH submaksimaalisen pyöräilytestin eri kuormilla muuttui harjoittelujakson aikana vain naisilla. Hapanryhmän pH 55 %:n kuormalla oli harjoittelujakson jälkeen alempana kuin ennen harjoittelua. Emäsryhmällä sen sijaan pH oli 55 ja 75 %:n kuormilla harjoittelujakson jälkeen korkeammalla kuin ennen harjoittelujaksoa. Näyttäisi siis siltä, että naisilla emäksinen ruokavalio on pitänyt elimistön hieman emäksisempänä kuormituksen aikana kuin hapan ruokavalio, mutta muutos ei ole vaikuttanut submaksimaaliseen suorituskykyyn. Tähän voi olla selityksenä laktaatti, joka on hyvä epäsuora indikaattori pH:n muutoksille (Robergs ym. 2004). Vaikka pH nousi vain naisten emäsryhmällä, laktaatti laski molemmilla ryhmillä. Harjoittelun seurauksena laktaatin tuotto onkin todennäköisesti laskenut (aerobisen energiantuotannon lisääntymisen seurauksena) ja laktaatin käyttö energiantuotannossa on kasvanut. Kovemmalla intensiteetillä tästä alentuneesta emäksisyydestä voisi kuitenkin olla hyötyä, sillä elimistön pitäminen emäksisenä kovilla harjoittelujaksoilla on kilpaurheilussa tärkeää kehittävän harjoitusvaikutuksen aikaansaamiseksi.

Yhteenveto. Tämän tutkimuksen perusteella kasvis- ja hedelmäpainotteinen (noin 800 - 1000 g kasviksia ja hedelmiä vuorokaudessa) ja normaalin määrän proteiinia sisältävä emäksinen ruokavalio ei vaikuta veren leptilan pH:hon, mutta naisilla leptilan virtsan pH nousi 12 viikon harjoittelun aikana ja oli korkeampi kuin hapanryhmällä. Nämä tulokset vahvistavat näkemystä siitä, että tarkasti säädellyn veren pH:hon leptilassa on vaikea vaikuttaa, mutta virtsan pH:hon sen sijaan voidaan vaikuttaa. Miesten pH:n muuttumattomuus on luultavasti yhteydessä ruokavalion heikompaan noudattamiseen.

Tutkimuksen päätulos oli, että emäsryhmän emäksisyyttä tuottava ruokavalio ei parantanut submaksimaalista kestävyys suorituskykyä verrattuna hapanyhmän suhteellisen ”normaaliin” suomalaisten käyttämään happamuutta tuottavaan ruokavalioon. Sen sijaan veren pH:n nousu 12 viikon harjoittelujakson jälkeen naisten emäsryhmällä submaksimaalisessa kestävyyskuormituksessa verrattuna ennen harjoittelua mitattuihin arvoihin antaa viitteitä ja tutkimushaasteita mahdollisista fysiologisista hyödyistä kovilla harjoittelujaksoilla urheilussa. Aihe vaatii lisätutkimuksia.

LÄHTEET

- Bailey, S. P. & Pate, R. R. 1991. Feasibility of improving running economy. *Sports Med* 12: 228-236.
- Bell, G. J., Syrotuik, D., Socha, T., Maclean, I., Quinney, H. A. 1997. Effect of strength training and concurrent strength and endurance training on strength, testosterone and cortisol. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 11: 57-64.
- Bergstrom, J., Hermansen, L., Hultman, E., Saltin B. 1967. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiologica Scandinavica*. 71: 140-150.
- 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: 807–813.
- Bouissou, P., Defer, G., Guezennec, Y., Estrade, P.Y. & Serrurier, B. 1988. Metabolic and blood catecholamine responses to exercise during alkalosis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20 (3), 228-232.
- Carr, A. J., Hopkins, W. G., Gore, C. J. 2011. Effects on acute alkalosis and acidosis on performance. A meta-analysis. *Sports Medicine*. 41: 801-814.
- Collins, M. A. & Snow, T. 1993. Are adaptations to combined endurance and strength training affected by the sequence of training? *Journal of sports sciences* 11: 485-491.
- Cordain, L., Eaton, S., Sebastian, A., Mann, N., Lindeberg, S., Watkins, B., O’Keefe, J. & Brand–Miller J. 2005. Origins and evolution of the Western diet: health implications for the 21st century. *American Journal of Clinical Nutrition* 81, 341–354.
- Enoka R. 2002. *Neuromechanics of human movement*. Human Kinetics. Champaign.
- Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M. S., Pedersen, P. K. 1998. Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilator demands. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 20: 1250-1256.
- Fuchs, R., Reddy, Y., Griggs, F. N. 1970. The interaction of cations with the calcium binding side of troponin. *Biochemica et Biophysica Acta*. 221: 407-409.

- Galloway, S.D.R. & Maughan, R.J. 1996. The effects of induced alkalosis on the metabolic response to prolonged exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 1996, 74, 384-389.
- Green, H. J., Daub, B. D., Painter, D. C., Thompson, J. A. 1978. Glycogen depletion patterns during ice hockey performance. *Medicine and science in sports* 10: 289-293.
- Greenhaff, P.L., Gleeson, M. &Maughan, R.J. 1987. 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. 1988. 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
- Guyton A. & Hall J. 2000. *Textbook of medical physiology*. W.B. Saunders Company. Philadelphia.
- Guyton A. & Hall J. 2006. *Textbook of medical physiology*. W.B. Saunders Company. Philadelphia.
- Guyton A. & Hall J. 2010. *Textbook of medical physiology*. W.B. Saunders Company. Philadelphia.
- Hickson, J. A., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M., Kurowski, T. T., Foster, C. 1988. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *Journal of Applied Physiology*, 65: 2285-2290.
- Hoff, J., Helgerud, J., Wisloff, U. 1999. Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 31:870-877.
- Hultman, E., Bergstrom, J., McLennan Anderson, N. 1967. Breakdown and resynthesis of phosphocreatine and adenosine triphosphate in connection with muscular work in man. *Scandinavian Journal of Clinical & Laboratory Investigation*. 19: 56-66.
- Johnson, R. E., Quinn, T. J., Kertzer, R., Vroman, N. B. 1997. Strength training in female distance runners: Impact on running economy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11: 224-229.

- Jones, A.M. & Carter, H. 2000. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*. 29: 373-386.
- Käypä hoito –suositus. 2013. Liikunta. www.terveysportti.fi/xmedia/hoi/hoi50075.pdf
31.1.2013
- Marcinik, E. J., Potts, J., Schlabach, G., Will, S., Dawson, P., Hurley, B. F. 1991. Effects of Strength training on lactate threshold and endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23: 429-436.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 2010. *Exercise physiology. Energy, nutrition and human performance*, 7th edition. Lippincot Williams & Willkins, USA.
- Nelson, A. G., Arnall, D. A., Loy, S. F., Silvester, L. J., Conlee, R. K. 1990. Consequences of combining strength and endurance training regimes. *Physical therapy*. 70: 287-294.
- Nigg B., MacIntosh B. & Mester J. 2000. *Biomechanics and Biology of Movement*. Human Kinetics, Champaign USA.
- Nummela, A. 2004. Kestävyyssuorituskykyä selittävät tekijät. *Kuntotestauksen käsikirja*, 55.
- Osnes, J., B. & Hermansen, L. 1972. Acid-base balance after maximal exercise of short duration. *Journal of Applied Physiology*. 32:59-63.
- Paavolainen, L. M., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999a. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol*. 86(5): 1527-1533.
- Remer, T. 2001. Influence of nutrition on acid-base balance – metabolic aspects. *European Journal of Nutrition*, 40, 214-220.
- Robergs, R. A., Ghiasvand, F., & Parker, D. 2004. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *The American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 287: 502–516.
- Sahlin, K., Harris, R., C., Nylin, B. & Hultman, E. 1976. Lactate content and pH in muscle samples obtained after dynamic exercise. *Pflügers Arch* 367:143-149.
- Saltin, B. & Karlsson, J. 1971. Muscle glycogen utilisation during work of different intensities. *Muscle Metabolism During Exercise*. B.Pernow & B.Saltin 11: 289–299.
- Sebastian, A., Frassetto, L. A., Sellmeyer, D. E., Merriam, R. L. & Curtis Morris, Jr R. 2002. Estimation of the net acid load of the diet of ancestral preagricultural

Homo sapiens and their hominid ancestors. *American Journal of Clinical Nutrition* 76: 1308 – 1316.

Staron, R. S., Malicky, E. S., Leonardi, M. J., Falken, J. E., Hagerman, F. C., Dudley, G. A. 1989. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *European Journal of Applied Physiology*. 60: 71-79.

Thomas, D.Q., Fernhall, B. & Grant, H. 1999. Changes in running economy during a 5km run in trained men and women runners. *J Strength Cond Res* 13: 162 – 167.

Wilmore, J.H. & Costill, D.L. 2004. *Physiology of sport and exercise*. Human Kinetics, USA.