

**EMÄSTÄ TUOTTAVAN RAVINNON JA FYYSISEN  
KUORMITUKSEN VAIKUTUKSET KALSIUM-  
METABOLIAAN**

Rebekka Turkki

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

# TIIVISTELMÄ

Turkki, Rebekka. Liikuntafysiologian kandidaattitutkielma. Kevät 2008. Emästä tuottavan ravinnon ja fyysisen kuormituksen vaikutukset kalsiummetaboliaan. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, 38 s.

**Johdanto.** Ravinnolla tiedetään olevan vaikutusta elimistön happo-emästasapainoon. Ruoka-aineen ravintoainesisällön happokuorma pystytään laskemaan PRAL-laskumallilla (PRAL = potential renal acid load), jonka mukaan elimistössä emästä tuottavat ravintoaineet saavat negatiiviset PRAL-arvot ja happoa tuottavat positiiviset PRAL-arvot. Happoja tuottavan ravinnon aiheuttamalla elimistön metabolisella asidoosilla on todettu olevan negatiivinen vaikutus kalsiummetaboliaan saaden aikaan kalsiumin vapautumista luusta. Kohtuullisen liikunnan on puolestaan todettu estävän kalsiumin liukenemista luusta vereen. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko ravinnolla, joka on arvioitu PRAL-laskukaavan mukaan emästä tuottavaksi, vaikutusta veren pH-arvoon ja sitä kautta veren kalsiumpitoisuuksiin levossa ja kuormituksen aikana. Lisäksi tarkoituksena oli tutkia miten fyysinen kuormitus vaikuttaa veren kalsiumpitoisuuksiin.

**Menetelmät,** Koehenkilöinä oli yhdeksän tervettä, liikuntaa harrastavaa miestä (ikä  $23,5 \pm 3,4$  vuotta, paino  $76,7 \pm 11,1$  kg, pituus  $187,7 \pm 8,7$  cm, rasvaprosentti  $15,6 \pm 3,0$  %). Tutkimus sisälsi kolme neljän päivän ruokapäiväkirjajaksoa, joista ensimmäisen aikana koehenkilöt nauttivat normaaliravintoa. Näiden neljän päivän avulla tarkistettiin, ettei koehenkilöiden ruokavalio ole kovasti normaalista poikkeava. Ensimmäisen ruokapäiväkirjajakson jälkeen koehenkilöt jaettiin kahteen ryhmään, joista toinen nautti toisella ja toinen kolmannella kerralla normaaliruokavalion sijaan PRAL-kaavan mukaan elimistöön emästä tuottavaa vähäproteiinista kasvisruokavaliota. Jokaisen ruokapäiväkirjajakson jälkeen järjestettiin suora maksimaalinen hapenottokyvynmittaus polkupyöraegometrillä. Ensimmäisen mittauksen hapenottokyvyn perusteella määritettiin polkemistehot seuraaviin kahteen mittaukseen, joissa poljettiin kolme 10 minuutin kuormaa: 40 %, 60 % ja 80 %:n tehoilla maksimihapenottokyvystä. Viimeinen kuorma poljettiin 100 %:n tehoilla uupumukseen asti. Jokaisen kuorman jälkeen pidettiin neljän minuutin tauko, jolloin otettiin verinäytteet käsivarren laskimosta ja sormenpäästä. Myös heti testin päättymisen jälkeen otettiin verinäytteet. Verinäytteistä määritettiin pH, kalsium-, kalium- ja magnesiumpitoisuudet. Tilastolliset analyysit tehtiin SPSS 15.0 for Windows-ohjelmalla käyttäen riippuvien otosten parittaista t-testiä sekä Pearsonin kaksisuuntaista korrelaatiokerrointa. Ruokapäiväkirjat analysoitiin Nutrica 3.11-ravintolaskentaohjelmalla.

**Tulokset.** Emästä tuottavan ja normaalin ruokavalion välillä ei löytynyt veren pH arvoissa tai kalsiumpitoisuuksissa tilastollisesti merkitseviä eroja paastoverinäytteissä tai kuormituksen yhteydessä otetuissa verinäytteissä. Kuitenkin molempien ruokavalioiden aikana paastoverinäytteen ja kuormituksen jälkeisen verinäytteen välillä oli tilastollisesti merkitsevät erot niin veren pH-arvoissa kuin kalsiumpitoisuuksissakin (normaaliruokavalio pH  $7,45 \pm 0,02$  vs.  $7,33 \pm 0,08$ ,  $p=0,02$ , emäsruekavalio pH  $7,45 \pm 0,02$  vs.  $7,34 \pm 0,03$ ,  $p=0,00$ , normaaliruokavalio  $Ca^{2+}$   $1,19 \pm 0,11$  mmol/l vs.  $1,30 \pm 0,06$  mmol/l,  $p=0,038$ , emäsruekavalio  $Ca^{2+}$   $1,20 \pm 0,08$  mmol/l vs.  $1,26 \pm 0,04$  mmol/l,  $p=0,044$ ). Veren ionisoidun kalsiumin pitoisuuden muutokset tapahtuivat vasta kolmannen ja neljännen kuorman välillä, kuorman 3 ja kuorman 4  $Ca^{2+}$ -pitoisuuden arvot eroavatkin toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (normaaliruokavalio  $1,17 \pm 0,05$  mmol/l vs.  $1,30 \pm 0,06$  mmol/l,  $p=0,00$ , emäsruekavalio  $1,17 \pm 0,05$  mmol/l vs.  $1,26 \pm 0,04$  mmol/l,  $p=0,00$ ). Kuormien jälkeisten verinäytteiden pH:n ja  $Ca^{2+}$ -pitoisuuden välinen korrelaatio oli normaali-ruokavalion aikana  $-0,795$  ( $P=0,108$ ) ja emäsruekavalion aikana  $-0,793$  ( $p=0,110$ ). Kaliumpitoisuuksissa normaaliravinnon ja emästä tuottavan ravinnon paastoverinäytteiden välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero ( $4,13 \pm 0,19$  mmol/l vs.  $4,39 \pm 0,29$  mmol/l,  $p=0,021$ ). Kuitenkaan kuormituksen jälkeisissä näytteissä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa eri ruokavalioiden välillä. Veren magnesiumpitoisuuksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja näytteiden välillä.

**Johtopäätökset.** Tutkimuksen tulosten mukaan ruokavalion tulisi sisältää runsas määrä PRAL-kaavalla mahdollisimman negatiivisia arvoja saaneita ruoka-aineita, jotta emästä tuottavan ruokavalion vaikutuksia veren kalsiumpitoisuuksiin saataisiin esille näin lyhyellä aikavälillä. Fyysinen suoritus aiheuttaa huomattavaa veren kalsiumpitoisuuden nousua suorituksen tehon noustessa yli 80 % maksimaalisesta hapenottokyvystä lisääntyneen anaerobisen energiantuottotavan seurauksesta johtuvan veren happamoitumisen vuoksi. Veren  $Ca^{2+}$ -pitoisuuden nousulla saattaa pitkällä aikavälillä olla vaikutusta luun tiheyden heikkenemiseen.

Avainsanat: kalsium, pH, ravinto, kuormitus, PRAL.

# SISÄLTÖ

|  |    |
|--|----|
| TIIVISTELMÄ.....   | 2  |
| 1 JOHDANTO.....  | 4  |
| 2 KIRJALLISUUSKATSAUS.....   | 6  |
| 2.1 Happo-emästasapaino.....   | 6  |
| 2.1.2 Happo-emästasapainon säätely.....  | 7  |
| 2.2.1 Metaboliset reitit.....  | 9  |
| 2.2.2 Ravinnon happokuorman laskeminen.....  | 9  |
| 2.2.3 Happoa ja emästä tuottava ravinto.....   | 11 |
| 2.3 Ravinnon aiheuttaman asidoosin tai alkaloosin vaikutus kalsiummetaboliaan....                      | 12 |
| 2.4 Fyysisen kuormituksen yhteys kalsiumaineenvaihduntaan.....   | 14 |
| 2.5 Liikunnan ja elimistöön happamuutta muodostavan ravinnon yhteisvaikutus<br>kalsiummetaboliaan..... | 16 |
| 3 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT.....   | 18 |
| 4 TUTKIMUSMENETELMÄT.....  | 20 |
| 4.1 Koehenkilöt.....   | 20 |
| 4.2 Koeasetelma.....   | 20 |
| 4.3 Aineiston keräys ja analysointi.....   | 22 |
| 4.4 Tilastolliset menetelmät.....  | 23 |
| 5 TULOKSET.....  | 24 |
| 5.1 Ravinnon vaikutus happo-emästasapainoon.....   | 24 |
| 5.2 Ravinnon ja liikunnan vaikutus kalsium-, kalium- ja magnesiumpitoisuuksiin<br>veressä.....         | 25 |
| 6 POHDINTA.....  | 29 |
| 7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....  | 34 |

8 LÄHTEET ..... 35

LIITE 1 ..... 38

## 1 JOHDANTO

Happo-emästasapainon säätely ja sen pysyminen tiukoissa optimaalisissa rajoissa on tärkeää elimistön toiminnan ja homeostaasin ylläpidossa. Ravinnolla on jo pitkään tiedetty olevan vaikutusta elimistön happo-emästasapainoon. Ruoka-aineen ravintoainesisällön happokuorma pystytään laskemaan PRAL-laskumallilla. Kaavaa käyttämällä elimistössä emästä tuottavat ravintoaineet saavat negatiiviset PRAL-arvot ja happoa tuottavat positiiviset PRAL-arvot. (Remer ym. 2003) Emästä tuottavia ruokia ovat mm. hedelmät, vihannekset, juurekset ja pähkinät. Happoa puolestaan tuottavat liha, kala, siipikarja ja viljatuotteet, erityisesti vehnä. (Cordain ym. 2005). Eläinproteiini on kaikkein tärkein happoa tuottava ravintoaine, sillä se tuottaa metabolisessa oksidaatiossa lopulta rikkihappoa ja fosforihappoa. (Arnett 2003). Kasviproteiini kuten soija on puolestaan emästä tuottavaa. (Sellmayer ym. 2001).

Länsimainen ruokavalio on pääasiassa metabolisia happoja muodostavaa. Useissa tutkimuksissa on ilmennyt, että ravinnon aiheuttama metabolinen asidoosi aiheuttaa kalsiumin vapautumista luusta ja pitkällä aikavälillä tällä on vaikutusta luun solujen toimintaan ja mahdollisesti osteoporoosin syntyyn. (Remer ym. 2003, Buclin ym. 2001).

On kuitenkin havaittu, että fyysisellä aktiivisuudella on puolestaan vaikutusta kalsiumin säilymiseen luussa. Etenkin voimaharjoittelutyypisen liikunnan ja kuormittavien iskujen kuten juoksemisen ja hyppäämisen kaltaisilla liikuntamuodoilla on havaittu olevan positiivisia vaikutuksia luuhun. (Shephard 2005). Erilaisilla tehoilla, kestoilla ja kuormitustavoilla tehdyissä testeissä on saatu myös viitteitä siitä, että voimaharjoittelun lisäksi myös polkupyörällä kohtalaisella intensiteetillä tehdyt kestävyystyypiset suoritukset vaikuttavat ionisoidun kalsiumin määrään veressä positiivisella tavalla. Maksimaalisen suorituksen on puolestaan todettu nostavan ionisoidun kalsiumin määrää ja vaikuttavat näin luun kalsiummetaboliaan heikentävästi. (Kristoffersson ym. 1994, Ljunghall ym. 1984). Tarkkaa optimaalista harjoitusohjelmaa luun tiheyden ylläpitoon ei kuitenkaan ole vielä saatu selville ja lisää tutkimuksia kaivataan.

Liikunnan ja ravinnon aiheuttaman asidoosin tai alkaloosin yhteisvaikutuksia on tutkittu hyvin vähän. Cardinale ym. (2006) sai tutkimuksessaan tuloksia, joiden mukaan runsasproteiinipitoisen ravinnon aiheuttamaa kalsiumin vapautumista luusta pystyttäisiin lieventämään fyysisen aktiivisuuden aiheuttaman luurankolihasiin kohdistuvan stimulusen avulla.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko ravinnolla, joka on arvioitu PRAL-laskukaavan mukaan emästä tuottavaksi, vaikutusta veren pH-arvoon ja sitä kautta veren kalsiumpitoisuuksiin levossa ja kuormituksen aikana. Lisäksi tarkoituksena oli tutkia miten fyysinen kuormitus vaikuttaa veren kalsiumpitoisuuksiin.

## 2 KIRJALLISUUSKATSAUS

### 2.1 Happo–emästasyyppi

Happo–emästasyyppien säätely on tärkeä osa elimistön toiminnan ja homeostaasin ylläpidossa. Happoiksi kutsutaan vetyatomeja sisältäviä molekyylejä, jotka pystyvät liuoksessa vapauttamaan vetyionin ( $H^+$ ). Emäkset puolestaan ovat ioneja tai molekyylejä, jotka voivat vastaanottaa  $H^+$ -ionin. Vetyioni on yksittäinen vapaa protoni, jonka vetyatomi on vapauttanut. (Guyton & Hall, s.383). Happo–emästasyyppien säätely perustuu ensisijaisesti strategiaan ylläpitää valkuaisaineionisaatiotila ja näin ollen proteiinien toiminta muuttumattomana. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki vetyionien metaboliaan vaikuttavat muuttujat ovat elimistössä kontrolloitu tiukoissa rajoissa. (Kahlhoff & Manz, 2001).

Veren  $H^+$  konsentraatio pysyy lepotilassa tiukoissa rajoissa vaihdellen noin 3–5 nEq/L. Normaali valtimoveren vetyionien konsentraatio on noin 40 nEq/L. Ääriolosuhteissa elimistön veren vetykonsentraatio voi kuitenkin vaihdella 10 nEq/l:stä 160 nEq/L:aan aiheuttamatta kuolemaa. Koska vetyionien konsentraatio määrät ovat kuitenkin suhteellisen matalia, ilmaistaan ne yleensä logaritmisella funktion avulla käyttäen pH yksikköjä. pH on vertailukelpoinen todelliseen vetykonsentraatioon kaavan  $pH = -\log[H^+]$  avulla. Esimerkiksi normaali vetyionikonsentraatio on  $pH = -\log [0,00000004]$ , josta saadaan  $pH = 7,4$ . (Guyton & Hall, s.384).

Laskimo- ja valtimoveren sekä useimpien elimistön nesteiden pH vaihtelee normaaliolosuhteissa välillä 7,35 – 7,45. Jos veren  $H^+$ -ionit vähenevät, pH nousee yli normaalin arvon 7,4. Tätä tilaa kutsutaan alkaloosiksi. Asidoosi puolestaan viittaa vetyionien konsentraation lisääntymiseen ja sitä kautta veren pH:n laskuun. Elimistön metabolia on erittäin herkkä vetyionien konsentraatiolle mikä mahdollistaa happo–emästasyyppien pysymiseen tiukoissa rajoissa. (McArdle ym. s.300)

Elimistön systemaattinen asidoosi, joka tosin on yleensä aika lievä, saattaa johtua muun muassa erittäin proteiinipitoisesta ruokavaliosta, epäorgaanisten happojen tai niiden

kaltaisten aineiden nauttimisesta, tai yksinkertaisesti iän myötä heikkenevien munuaisten sekä hengitys- ja verenkiertoelimistön seurauksesta. Elimistön paikallista happamuutta voivat aiheuttaa tulehdukset, kasvaimet, haavat, diabetes ja ikääntyminen. Rannan liikuntasuorituksen aiheuttama happamoituminen on seurausta liian hitaasta hiilidioksidin kulkeutumisesta keuhkoihin suhteessa vetyionien tuottoon elimistössä. Tätä kutsutaan respiratoriseksi asidoosiksi. (Arnelt 2003).

## 2.1.2 Happo-emästasyytilapainon säätely

### 2.1.2.1 Kemialliset puskurit

Puskuriksi kutsutaan mitä tahansa ainetta, joka pystyy reversiibelisti sitomaan vetyionin. Elimistön nesteiden puskurointijärjestelmät reagoivat muuttuneeseen  $H^+$ -konsentraatioon sekunnin murto-osassa vähentääkseen muutoksia. Puskurointijärjestelmät eivät poista tai lisää vetyioneja elimistöstä vaan sitovat ne siihen asti kunnes tasepaino vallitsee taas. Esimerkkinä yhtälö  $H^+ + \text{Puskuri} \leftrightarrow H \text{ Puskuri}$ , jossa vapaa  $H^+$ -ioni yhdistyy puskuriin, mitkä yhdessä muodostavat heikon hapon (H -puskuri). Tämä heikko happo voi joko pysyä kyseisenä molekyylinä tai dissosioitua takaisin puskuriksi ja vetyioniksi. Kun vetyionikonsentraatio kasvaa, reaktio tapahtuu oikealle ja yhä enemmän  $H^+$ -ioneja sitoutuu puskureihin. Vastaavasti kun  $H^+$ -konsentraatio laskee, reaktio tapahtuu vasemmalle ja vetyioni vapautuu puskurista. (Guyton & Hall s. 384–385).

Bikarbonaatti on tärkein solun ulkoisen nesteen puskuri. Plasman pH on 7,4 ja bikarbonaatin pK on 6,1 mikä tarkoittaa, että  $HCO_3^-$ -konsentraatio on 20-kertainen verrattuna  $CO_2$ -konsentraatioon. Hiilidioksidin reagoiessa veden kanssa syntyy heikkoa hiilihappoa, joka dissosioituu bikarbonaatiksi ja vapaaksi vetyioniksi. (Guyton & Hall, 387). Hiilidioksidi kulkeutuu näin bikarbonaattina ja vetyionina keuhkoihin, jossa reaktio tapahtuu päinvastaiseen suuntaan ja  $CO_2$  ja  $H_2O$  poistuvat elimistöstä uloshengityksen mukana. Veren pH:n ja hiilidioksidin paineen välillä on näin ollen suora suhde. (Campbell & Farrell, 53).



Fosfaattipuskureilla on tärkein rooli happo–emästasapainon ylläpitämisessä munuaisten tubulaaristen nesteissä sekä solun sisäisissä nesteissä, missä fosfaattikonsentraatio on korkea. (McArdle ym., 301) Kolmas tärkeä puskuriryhmä on proteiinit, joiden konsentraatio on solun sisäisessä nesteessä korkea. (Guyton & Hall, 387). Hemoglobiini on plasman proteiineista tärkein vedyn sitoja ja pystyy näin ollen säätelemään happamuutta kuusi kertaa paremmin kuin muut proteiinit. (McArdle ym., 302).

### 2.1.2.2 Fysiologiset puskurit

Hengitysprosessilla on tärkeä rooli veren puskuroinnissa. Elimistön vetyionikonsentraation noustessa hengitystiheys kasvaa. Tämä johtuu lisääntyneiden vetyionien sitoutumisesta bikarbonaatti–ioniin jolloin muodostuu hiilihappoa,  $H^+ + HCO_3^- \leftrightarrow H_2CO_3$ .  $H_2CO_3$ :n lisääntynyt määrä nostaa liuenteen hiilidioksidin määrää ja lopulta myös keuhkojen kaasumaisen hiilidioksidin määrää, mikä poistuu keuhkoista kohonneen hengitystiheyden ansiosta nopeasti.  $H_2CO_3(aq) \leftrightarrow CO_2(aq) + H_2O(l)$ ,  $CO_2(aq) \leftrightarrow CO_2(g)$ . (Campbell & Farrell, 54). Hengitysprosessi kuuluu toisen linjan puolustukseen ja se toimii muutamassa minuutissa saaden happo–emästasapainon jälleen normaaliksi. (Guyton & Hall, 384).

Hieman kahta edellistä puskurijärjestelmää hitaampana toimii kolmannen linjan puolustuksessa munuaiset poistamalla joko happoa tai emästä virtsaan. (Guyton & Hall, 390). Munuaisten tubulukset säätelevät happamuutta moninaisten kemiallisten reaktioiden kautta erittämällä ammoniakkia ja vetyioneja virtsaan ja sitten reabsorboimalla emästä, kloridia ja bikarbonaatteja takaisin solun nesteeseen ja verenkiertoon. (McArdle ym. 302) Substraattimetabolia tuottaa metabolisoituvaa happoa ja emästä hajottamalla rikkiä sisältäviä aminohappoja. Nämä jähmeät hapot eritetään munuaisten kautta kytkeytyen bikarbonaatin uudelleenmuodostumiseen. Elimistön läpi suoliston kautta munuaisiin kulkeutuvat elektrolyytit muodostavat niin kutsuttuja ei-metabolisoituvia happoja tai emäksiä. Nämä lisäävät virtsan ionien eritystä ja näin ollen edesauttavat virtsaan eritetyn hapon määrän lisääntymistä. (Kalhoff & Manz, 2001).

## **2.2 Ravinnon vaikutus happo–emästasapainoon**

### **2.2.1 Metaboliset reitit**

Ravinnolla on jo pitkään tiedetty olevan vahva vaikutus elimistön happo–emästasapainoon. Ruoan nauttimisen jälkeen suolisto on ensimmäinen elin, jolla on tärkeä vaikutus happo–emästasapainon metaboliaan. Suolisto ei itse erityisesti muodosta happo–tai emäsekvivalenteja, mutta riippuen nautitun ruoan koostumuksesta muokkaa se veren bikarbonaattitasoa joko lisäämällä tai vähentämällä alkalien määrää haimaerityksestä. Lisäksi suolisto päättää kuinka paljon imeytyy rikkiä sisältäviä aminohappoja ja metabolisoituvien organisten happojen alkalisia suoloja. Nämä aineet ovat imeytymisen jälkeen käytettävissä maksassa tai muissa aktiivisissa kudoksissa substraatteina emäksen tai hapon muodostamiseen. Suolisto ei siis suoraan muodosta happoa tai emästä, vaan sitä vastoin muodostaa happo – ja emäskuormia. Tämä johtuu jokaisen elektrolyytin omasta erityisestä imeytymisnopeudesta. Esimerkiksi samasta määrästä magnesiumia on imeytynyt vain noin kolmannes samassa ajassa kun kloridista on samasta määrästä imeytynyt jo 95 %. (Remer 2001).

Maksa ja muut metabolisesti aktiiviset kudokset puolestaan toimivat todellisen hapon ja emäksen muodostajana. Esimerkiksi rikkiä sisältävien aminohappojen hapettaminen virtsaksi ja hiilidioksidiksi tuottaa myös rikkihappoa. Toisaalta kun ravinnosta saatuja orgaanisten happojen alkalisia suoloja metabolisoidaan hiilidioksidiksi ja vedeksi tuotetaan samalla kationi yhdessä bikarbonaatin kanssa. Tämä puolestaan lisää alkalivarastoa tai ns. veren emäsallasta. (Remer 2001).

### **2.2.2 Ravinnon happokuorman laskeminen**

Klassinen operatiivinen kuvaus happo–emästasapainon metaboliasta kohdistuu munuaisiin. (Kalhoff & Manz). Remerin (2001) mukaan munuaisten virtsaan erittämän hapon määrää (NAE= net acid excretion) voidaan arvioida ruoan koostumuksesta. Fysiologiaan perustuvan laskumallin, joka pitää paikkaansa mineraalien ja rikkiä sisältävien proteiinien suoleen imeytymisen kanssa sekä olettaa orgaanis-

ten happojen erityisnopeuden virtsassa olevan verrannollinen elimistön pinta-alaan, testasivat Remer ym. (2001) menestyksekkäästi kontrolloitujen ruokavalioiden avulla.

Anionit muodostavat elimistössä happoa ja kationit emästä. Silloin, kun anionien (Cl, P, SO<sub>4</sub> ja erilaisten orgaanisten happojen sekoitukset = OA) määrä virtsassa ylittää kationeiden (Na, K, Ca ja Mg) määrän, on vetyionien erityis tarpeellista. Näiden nonbikarbonaattianionien ja –mineraalikationeiden erotus muodostaa virtsaan eritetyn hapon määrän. NAE epäsuorasti laskettuna = (Σ happoa muodostavat epäorgaaniset anionit + OA) – Σ emästä muodostavat kationit. Analyytisesti NAE = NH<sub>4</sub> + TA(titrattava happo) – HCO<sub>3</sub>. (Remer 2001).

Myös ruoka-aineen ravintoainesisällön happokuorma (PRAL = potential renal acid load) pystytään laskemaan. PRAL-laskumalli (suhteutettuna 100 g syötävään annokseen) perustuu samaan laskumalliin NAE:n kanssa poikkeuksena kuitenkin, että ruuille ja juomille ei yleisesti voida arvioida orgaanisten happojen sekoituksia, sillä muuttuja ei ole ainoastaan ruoasta riippuvainen vaan ensisijaisesti antropometrisesti riippuvainen. (Remer 2001). Ravintoainesisällön happokuormaa laskettaessa tulee tietää kyseisten ravintoaineiden keskimääräinen imeytymisnopeus suolistossa, fosfaatin dissosiaatioaste pH 7,4:ssä sekä magnesiumin ja kalsiumin ioniarvo. Näiden tietojen perusteella voidaan PRAL laskea kaavalla:

$$\begin{aligned} \text{PRAL (mEq/d)} &= 0,49 \times \text{proteiini (g/d)} \\ &+ 0,037 \times \text{fosfori (mg/d)} \\ &- 0,021 \times \text{kalium (mg/d)} \\ &- 0,026 \times \text{magnesium (mg/d)} \\ &- 0,013 \times \text{kalsium (mg/d)} \end{aligned}$$

Käyttämällä yllä mainittua kaavaa, elimistössä emästä tuottavat ravintoaineet saavat negatiiviset PRAL-arvot ja happoa tuottavat positiiviset PRAL-arvot. Nykyään NAE – arvioinnin mallia ja taulukoituja ruokien PRAL-arvoja käytetään kansainvälisesti ravintotutkimuksessa ja apuna sairaalaravinnon suunnittelussa.

(Remer ym. 2003).

### 2.2.3 Happoa ja emästä tuottava ravinto

Ruoansulatuksen, imeytymisen ja metabolian jälkeen lähes kaikki ruoat vapauttavat joko happoa tai bikarbonaattia eli emästä verenkiertoon. PRAL -kaavaa käyttäen saavat kala, liha, siipikarja, kanamuna, äyriäiset, juusto, maito ja viljanjyvät positiiviset arvot, mikä tarkoittaa, että ne ovat happoa tuottavia ruokia. (Cordain ym, 2005). Maito ja jogurtti tuottavat happoa noin 1 mEq, kun taas muun muassa liha, kala, siipikarja ja juustot sekä jopa jotkut viljatuotteet tuottavat yli 7 mEq:ta tai enemmänkin. (Remer 2001). Tuoreet hedelmät, vihannekset, juurekset ja pähkinät tuottavat puolestaan elimistöön emästä. Ravintoarvoltaan heikot ruoka-aineet, kuten hienosokeri ja erilliset rasvat, eivät tuota happoa eikä emästä. Suola kuitenkin tuottaa happoa kloridi-ionin takia. (Cordain ym. 2005).

Happoa tuottavista ruoka-aineista puhuttaessa mainitaan useimmiten ensimmäisenä proteiinit. (Sellmeyer ym. 2001). Rikkiä ja fosforia sisältävät proteiinit tuottavat metabolisessa oksidaatiossa lopulta rikkihappoa ja fosforihappoa, jotka joudutaan poistamaan munuaisten kautta elimistöstä. (Arnett 2003). Eläinproteiinista koostuvat ruoat ovat suuresti happokuormaa lisääviä ja näin ollen nautitun eläinproteiinin määrä korreloikin hyvin NAE:n eli munuaisten virtsaan erittämän hapon määrän kanssa ( $r = 0,84$ ,  $p < 0.0005$ ). Kasvisproteiini, kuten soija on puolestaan emästä tuottavaa. Kasvikset ja hedelmät sisältävät aminohappojen lisäksi huomattavan määrän emäksen esimuotoja. Sen jälkeen kun nämä orgaaniset kaliumsuolat metabolisoidaan, muodostuu kalium bikarbonaattia. (Sellmeyer ym. 2001).

Tyypillinen länsimainen ravinto tuottaa päivässä happokuormaa arviolta noin 50 mEq/d. Ihanteellinen tila ihmiselimistölle olisi hieman alkalisen puolella. Buclin ym. (2001) tukivat kuinka emästä muodostava neljän päivän vakioitu ravinto ja happoa muodostava neljän päivän vakioitu ravinto vaikuttavat pH-arvoon veressä ja virtsassa. Molemmat ruokavaliot sisälsivät saman määrän kalsiumia, fosfaattia, natriumia, proteiineja ja kaloreita. Koehenkilöitä oli kahdeksan ja molemmat ruokavaliot jaksot toistettiin kahdesti. Verinäytteitä otettiin jokaisen jakson neljäntenä päivänä neljään eri aikaan sekä viidennten päivän aamuna. Tulosten mukaan virtsan pH:ssa oli testiruokavalioiden välillä 1,02

yksikön muutos happoja muodostavan ruokavalion laskiessa pH:ta ja emästä tuottavan nostaessa ( $p < 0,0001$ ). Veren pH:ssa muutokset tapahtuivat samaan suuntaan ( $p = 0,002$ ).

### **2.3 Ravinnon aiheuttaman asidoosin tai alkaloosin vaikutus kalsiummetaboliaan**

Kalsium on kehomme yleisin kivennäisaine. Kalsiumin määrä on noin 1 kg, josta 99 % on sitoutuneena luustoon, joka tavallaan toimiikin kalsiumin varastona. Yksi prosentti kalsiumista on solunulkoisissa nesteissä ja 0,1 % solunsisäisissä nesteissä. (Guyton & Hall, s.371). Kalsiumin tärkeimmät tehtävät elimistössä ovat mm. luun rakenneosana, lihasten supistumisessa ja lihasten energiansaantiin tarvittavien entsyymien aktivoimisessa sekä hermoston toiminnassa. Luustossa tapahtuu jatkuvaa hajoamista ja uudelleenmuodostusta ja näin ollen kalsiumin päivittäisen vaihtuvuuden on arvioitu olevan noin 700 mg/vrk. (Borg ym. s.78).

Noin 50 prosenttia eli 5 mEq/l plasman kokonaiskalsiumista esiintyy ionisoidussa, biologisesti aktiivisessa muodossa. Loput kalsiumista ovat joko sitoutuneet plasman proteiineihin (40 %) tai yhdistettyinä anioneihin kuten fosfaattiin tai sitraattiin. Muutokset plasman vetyionikonsentraatiossa voivat vaikuttaa kalsiumin proteiineihin sitoutumistaseseen. Asidoosin aikana vähemmän kalsiumia on sitoutunut plasmaproteiineihin ja vastaavasti alkaloosin aikana suurempi osa kalsiumista on sitoutuneena proteiineihin. (Guyton & Hall, s.371).

Parathormoni on luun kalsiumin määrän tärkein säätelijä. Jos solunulkoisennesteen kalsiumpitoisuus laskee normaalirajan alapuolelle, parathormonipitoisuus kasvaa, mikä saa aikaan kalsiumsuolojen vapautumisen luusta ja veren kalsiumpitoisuuden nousemaan normaaliksi. Päinvastoin, jos veren kalsiumpitoisuus nousee suureksi, parathormonipitoisuus laskee ja kalsiumia imeytyy luuhun enemmän. Parathormoni säätelee myös plasman kalsiumin määrää tehostamalla kalsiumin absorptiota munaistubuluksista. (Guyton & Hall, s.371–372).

Luun mineraali toimii kuin puskurialustana vetyioneille. Elinikäinen ravinnon aiheuttaman happokuorman puskurointi johtaa kuitenkin asteittaisesti kasvavaan luun menetyk-

seen. Tämän takia suositellaankin nautittavaksi emästä tuottavaa ravintoa, joka koostuu suuressa määrin hedelmistä, vihanneksista, magnesiumista, kaliumista, sekä riittävästi määrin maidosta ja proteiinista. (Tucker ym.2001).

Länsimaiset ihmiset nauttivat kuitenkin pääasiassa ravintoa, joka muodostaa metabolisia happoja. Tämä johtaa elimistön bikarbonaattikonsentraation vähenemiseen ja pH:n laskuun. Buclin ym. (2001) tutkivat samassa yhteydessä edellä mainitun pH-tutkimuksen kanssa saman neljän päivän vakioidun, happoja tuottavan ravinnon ja emästä tuottavan ravinnon vaikutuksia kalsiumin säilymiseen luussa. Tulosten mukaan happoa tuottava ravinto lisäsi virtsan kalsiumin eritystä 74 % verrattuna emästä tuottavaan ravintoon ( $p < 0,0001$ ). Edellä mainittu tutkimus kuten useat muutkin tutkimukset ovat yksimielisiä siitä, että metabolinen asidoosi aiheuttaa kalsiumin vapautumista luusta, mikä johtuu yksinkertaisesti fysiokemiallisesta mineraalien liukenemisestä. Metabolinen asidoosi saa aikaan merkittävän kasvun kalsiumin erittymisessä virtsan mukana, mutta kalsiumin imeytymiseen suolistossa sillä ei ole vaikutusta. Elimistön asidoosilla on pitkällä aikavälillä vaikutusta luun solujen toimintaan. (Bushinsky 2001).

On edelleen epäselvää vaikuttaako ravinnon aiheuttama happokuorma suoraan vai epäsuoraan luun metaboliaan. Epäsuorassa tapauksessa kalsiumtasapaino olisi riippuvainen emäskuorman sisältämistä kationeista esimerkiksi kaliumista ja magnesiumista. Useimmissa tutkimuksissa onkin magnesiumilla ja kaliumilla havaittu olevan suojaavia vaikutuksia luuhun. (Maurer ym. 2003). Kaliumin tärkeimpiä lähteitä ovat kasvikset, kuitupitoiset viljatuotteet, maitotuotteet sekä mineraalisuolan sisältämä kalium. Magnesiumin keskeisimpiä lähteitä ovat kuitupitoiset viljatuotteet. (Borg ym. 80–81).

Esimerkiksi Tucker:n ym. (2001) tekemässä kalsiumtasapainotutkimuksissa tuli esille, että kalium edistää kalsiumin säilymistä luussa. Myös riittävällä magnesiumin saannilla havaittiin olevan vaikutusta kalsiummetabolian ja kalsiumtasapainon pysymiseen normaalina. Tutkimuksessa koehenkilöitä oli 615 iältään 69–97-vuotiaita miehiä ja naisia. Koehenkilöiltä mitattiin luun mineraalitiheys eri kohdista lonkkaa ja kyynärvartta. Ravinnonsaanti arvioitiin ruokapäiväkirjojen avulla. Luun tiheyteen vaikuttavat tekijät kuten fyysinen aktiivisuus, tupakointi, kalsiumlisien käyttö oli huomioitu tulosten tulkinnassa. Alku- ja loppumittausten välillä oli neljä vuotta. Tulosten mukaan magnesiumin, kaliumin, hedelmien ja vihannesten nauttimisella oli yhteyttä vähäisempään luun

menetykseen neljän vuoden aikana ( $p < 0,01$ ). Hypoteesin vastaisesti kuitenkin runsaalla proteiinin nauttimisella oli suurempi yhteys vähäisempään luun menetykseen niukempaan proteiinin saantiin verrattuna. (Tucker ym. 2001).

Bushinsky (2001) vertailee metabolista ja respiratorista asidoosia ja hänen mukaan respiratorinen asidoosi, esimerkiksi intensiivisen fyysisen suorituksen aiheuttamana, vaikuttaa huomattavasti vähemmän luun mineraalien liukenemistä ja takaisinimeytymistä. Tällaisessa tilanteessa luu ei toimi puskurina vetyioneille. Äkillisissä happamoitumistapauksissa metabolisen asidoosin aiheuttamassa happamoitumisessa kalsiumin liukeneminen on huomattavasti suurempaa kuin respiratorisen asidoosin aiheuttamassa happamuustilassa. Lisäksi kalsiumin on huomattu kerrostuvan uudelleen luun pinnalle akuutissa respiratorisessa asidoosissa. Kroonisessa metabolisessa asidoosissa on havaittu myös nettokalsiumin poistumista luusta. Kroonisessa respiratorisessa asidoosissa kalsiumin liukenemistä ei puolestaan ole havaittu.

## **2.4 Fyysisen kuormituksen yhteys kalsiumaineenvaihduntaan**

Päivittäisellä fyysisellä aktiivisuudella on tärkeä rooli myös kalsiumin kannalta. Useat tutkimukset niin urheilijoilla kuin toimistotyötä tekevillä ovat osoittaneet, että liikunnalla on suora vaikutus kalsiumin säilymiseen luussa. Fyysisen aktiivisuuden aiheuttama luun taipuminen tai tärähtäminen saa aikaan muutoksen luun solujen sähköisessä latauksessa suosimalla kalsiumin kerrostumista negatiiviseksi muuttuneen solun reunalle. Tämä pietsosähköinen vaikutus stimuloi myös luun soluja tuottamaan cAMP:ta ja prostaglandiini E<sub>2</sub>:ta, mikä puolestaan auttaa luun muodostumisessa. Liikunnan hyödyt luuhun johtuvat osin myös verenkierron lisääntymisestä luustoon. (Shephard 2005).

Tarkkaa optimaalista harjoitusohjelmaa luun tiheyden ylläpitoon ei ole vielä saatu selville. Hyötyjä on saatu liikunnasta, joka tuottaa luustoa kuormittavia kovia iskuja kuten juokseminen ja hyppääminen sekä voimakkaiden eksentristen lihassupistusten kautta luustoa kuormittavasta voimaharjoittelusta. Luun tiheys korreloi positiivisesti lihaksen huippuvääntömomentin kanssa, jolloin voima vaikuttaa tiettyihin luihin. Kuitenkin sydän- ja verenkiertoelimistön kanssa luun tiheydellä on vain vähän tekemistä. (Shephard

2005). Mitä tahansa liikuntaa harrastaakaan, kalsiumin säilymistä luissa ei voi kuitenkaan tapahtua ellei kalsiumin ja D-vitamiinin saanti ravinnosta ole riittävää.

Kristoffersson ym. (1994) tutkivat kuinka lyhytkestoinen, 30 sekunnin maksimaalinen fyysinen suoritus polkupyöräergometrillä tehtynä (Wingate-testi) vaikuttaa plasman kalsiumpitoisuuksiin, veren kalsiumpitoisuutta säätelevään parathormoniin sekä muihin luun metaboliaan vaikuttaviin tekijöihin kuten C-telopeptidiin, jota vapautuu seerumiin luun hajoamisen seurauksena. Koehenkilöinä oli seitsemän keskimäärin 22 -vuotiasta ruotsalaista kansallisen tason jääkiekkoilijaa. Verinäytteet otettiin tunti ennen suoritusta sekä viisi ja 60 minuuttia suorituksen jälkeen. Tärkeimpänä löydöksenä tutkimuksessa havaittiin ionisoidun kalsiumin kasvu lyhyen maksimaalisen suorituksen jälkeen. Totaalinen seerumin kalsiumpitoisuus, parathomonipitoisuus tai muut luun metaboliaan vaikuttavat tekijät eivät olleet muuttuneet tilastollisesti merkitsevästi. Ionisoidun kalsiumin lisääntymisen ja parathormonin pienen vähenemisen uskotaan olevan anaerobisen suorituksen aiheuttaman happamuuden ansiota. Vähäistä plasman tilavuuden pienenemistä tapahtui suorituksen aikana, mutta tämä ei voi yksin selittää ionisoidun kalsiumin pitoisuuden lisääntymistä.

Brahm ym. (1996) tulivat tutkimuksessaan myös siihen tulokseen, että yksi raskas tässä tapauksessa pitkäkestoinen juosten tehty urheilusuoritus hyvin harjoitelleilla miehillä ja naisilla vaikuttaa hetkelliseen inhibitioon luun muodostuksessa. Koehenkilöinä oli kaksikymmentä säännöllisesti liikuntaa harrastavaa 22 – 55 -vuotiasta miestä ja naista, jotka osallistuivat juoksukilpailuun. Matkat vaihtelivat 5-30 kilometrin välillä ja juoksu-nopeus oli naisilla 5:30 ja miehillä 5:02 per kilometri. Paastoverinäytteet otettiin kilpailuaamuna sekä aamulla yhden ja kahden vuorokauden kuluttua kilpailusta. Seerumin kalsiumpitoisuudessa ja parathormonipitoisuudessa ei kuitenkaan löytynyt merkittävää eroa johtuen luultavasti vasta kilpailun jälkeisenä päivänä otetuista näytteistä.

Tutkimukset, joissa on liikuttu kohtalaisella intensiteetillä, ovat tuottaneet päinvastaisia tuloksia kalsiummetabolian suhteen. Vuonna 1986 Ljunghall ym. tutkivat pitkäkestoisesta matalaintensiteettisen liikunnan vaikutuksia kalsium- ja parathormonipitoisuuksiin. Kaksitoista tervettä miestä polki viisi tuntia polkupyöräergometrillä 50 %:lla maksimaalisesta suorituskyvystä. Seerumin parathormonipitoisuus nousi heti ensimmäisen poljetun tunnin jälkeen 5-7 prosenttia lähtötasosta. Parathormonipitoisuuden nousuun oletet-



tavasti vaikutti ionisoidun kalsiumin lasku suorituksen aikana. Kuitenkin kokonaiskalsiumpitoisuus nousi 3-5 prosenttia suorituksen aikana, joten luultavimmin vapaan ionisoidun kalsiumin lasku johtui sen sitoutumisesta muihin komponentteihin.

Kaksi vuotta aiemmin (1984) Ljunghall ym. olivat tutkineet myös liikunnan vaikutuksia veren ionisoidun- sekä kokonaiskalsiumin määrään sekä parathormonipitoisuuksiin. Tutkimuksessa koehenkilöt polkivat polkupyöräergometrillä ja kuormaa lisättiin asteittain. Kuorman noustessa tasolle 65 prosenttia arvioidusta maksimaalisesta hapenottokyvystä ionisoitu kalsium sekä totaalinen kalsiumpitoisuus nousivat merkitsevästi ( $p < 0,001$ ). Plasman ionisoidun kalsiumin nousu johtui luultavimmin suurilta osin syntyneestä asidoosista.

## **2.5 Liikunnan ja elimistöön happamuutta muodostavan ravinnon yhteisvaikutus kalsiummetaboliaan**

Ruokailutottumuksilla ja fyysisellä aktiivisuudella on osoitettu olevan suuri vaikutus luuston terveyteen. Happo-emästasapainon vaihteluilla ja vähäisellä mekaanisella stimulauksella on todettu olevan epäsuotuisa vaikutus kalsiumtasapainoon ja luun metaboliaan. Huonot ruokailutottumukset ja vähäisen liikunnan määrä yhdistettynä geneettisiin tekijöihin onkin suurin osteoporoosin aiheuttaja. (Cardinale ym. 2006).

Cardinale ym. (2006) tutkivat kuinka 30 Hz taajuudella koko vartaloon värähtelyä aiheuttava laite (whole-body vibration, WBV) 10 minuuttia päivässä käytettynä vaikutti luun metaboliaan silloin, kun elimistön asidoositila oli aiheutettu runsasproteiinipitoisella ravinnolla (2g x painokilo/ vrk). WBV:n on todettu stimuloivan lihaksia vastusharjoittelun kaltaisesti. Päivittäisistä virtsanäytteistä analysoitiin kalsiumin, fosfaatin, titratavan hapon, virtsan ja C-telopeptidin määrä. Tulosten mukaan virtsan kalsium- ( $P < 0,001$ ) ja fosfaattipitoisuudet ( $P < 0,003$ ) sekä C-telopeptidipitoisuus ( $P < 0,05$ ) nousivat odotetusti silloin kun koehenkilöt nauttivat korkeaproteiinipitoista ravintoa. Korkeaproteiinipitoisen ravinnon nauttiminen yhdistettynä WBV-laitteen käyttöön vähensi kalsium- ja fosfaattipitoisuuksien erittymistä virtsaan edelliseen verrattuna, jossa nautittiin asidoosia aiheuttavaa proteiinipitoista ruokavaliota eikä käytetty WBV-laitetta (kalsium  $P < 0,006$  ja fosfaatti  $P < 0,021$ ). C-telopeptidi pysyi ennallaan. Pelkän WBV-

laitteen käyttö yhdistettynä normaaliruokavalioon ei vaikuttanut merkitsevästi kyseisten muuttujien määrään virtsassa verrattuna normaalitilanteeseen, jossa laitetta ei käytetty. WBV laitteen käytöllä todettiin siis olevan vaikutusta kalsiummetaboliaan myönteisesti silloin, jos elimistössä vallitsee hapan tila. Toisin sanoen tulosten mukaan voisi olettaa, että fyysisen aktiivisuuden aiheuttama värähtelyimpulssi voi vähentää metabolisen asidoosin aiheuttamaa kalsiumin vapautumista luusta.

### 3 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää miten emästä tuottavaksi arvioitu ruokavalio sekä fyysinen kuormitus vaikuttavat veren kalsiumpitoisuuksiin. Ravinnon vaikutuksia tutkittiin neljän vuorokauden normaaliruokavaliojakson sekä vähäproteiinisen kasvisruokavaliojakson jälkeen. Ruokavaliojaksoja ennen ja heti niiden jälkeen otettiin paastoverinäytteet. Neljän vuorokauden ravintojaksojen jälkeen seurasi maksimaalinen, loppuunviety kuormitus polkupyöraergometrillä, jonka aikana otettiin jokaisen lisätyn kuorman jälkeen verinäytteet sormenpäästä ja käsivarren laskimosta.

Esimerkiksi Remer (2001) ja Maurer ym.(2002) ovat sitä mieltä, että ravinnon koostumuksella on vaikutusta happo-emästasapainoon. Ruoka-aineiden aiheuttamaa happojen tai emästen muodostusta voidaan arvioida PRAL-laskukaavan avulla.

1. Hypoteesi: PRAL:n avulla happojen tuotantoa elimistössä lisääväksi arvioitu neljän päivän ruokavalio laskee veren pH:ta.

2. Hypoteesi: PRAL:n avulla emästen tuotantoa elimistössä lisääväksi arvioitu neljän päivän ruokavalio nostaa veren pH:ta.

Mm. Bushinskyn (2001), Tuckerin ym. (2001) ja Sellmeyerin ym. (2001) mukaan emästä tuottavilla ravintoaineilla, kuten hedelmillä ja kasviksilla, on vaikutusta kalsiummetaboliaan ja sitä kautta luun muodostumiseen. Kalsiumtasapainotutkimuksissa on myös tullut esille, että ravinnosta saatavalla riittäväällä kaliumin ja magnesiumin saannilla edistetään kalsiumin säilymistä luussa. (Tucker ym. 2001).

3. Hypoteesi: PRAL:n avulla emästen tuotantoa elimistössä lisääväksi arvioitu ruokavalio nostaa veren kalium- ja magnesiumipitoisuuksia ja laskee ionisoidun kalsiumin pitoisuuksia verrattuna normaaliruokavalioon.

Esimerkiksi Ljunghall ym. (1984, 1986) ovat todenneet, että polkupyöraergometrillä tehty kohtalaisella teholla suoritettu fyysinen kuormitus vähentää kalsiumin pitoisuutta

veressä. Toisaalta Ljunghall (1984) ja Kristoffersson (1994) totesivat, että maksimaalinen polkupyörälläergometrillä tehty fyysinen kuormitus lisää veren ionisoidun kalsiumin määrää.

4. hypoteesi: Kuormitustehon noustessa veren kalsiumpitoisuus nousee.

Cordain ym. (2006) mukaan liikunnalla voidaan ehkäistä happoa tuottavan ruokavalion aiheuttamaa kalsiumpitoisuuden nousua veressä.

5. hypoteesi: Emästä tuottavan ravintojakson jälkeen suoritettussa kuormituksessa veren kalsiumpitoisuus ei nouse yhtä paljon kuin normaaliruokavaliojakson jälkeen.

## 4 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 4.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä oli yhdeksän  $23,5 \pm 3,4$ -vuotiasta liikuntaa säännöllisesti harrastavaa miestä. He painoivat  $76,7 \pm 11,1$  kg ja olivat pituudeltaan  $187,7 \pm 8,7$  cm. Koehenkilöiden massaindeksi (BMI) oli  $24,0 \pm 3,3$  ja neljän pisteen menetelmällä (Durnin & Womersley 1974) mitattu rasvaprocentti  $15,6 \pm 3,0$  %. Koehenkilöt saivat tarkat tiedot tutkimuksen kulusta ja tarkoituksesta ennen tutkimuksen alkua, ja he antoivat kirjallisen suostumuksensa tutkimukseen osallistumisesta. Tutkimussuunnitelma oli hyväksytty Jyväskylän yliopiston eettisessä toimikunnassa.

### 4.2 Koeasetelma

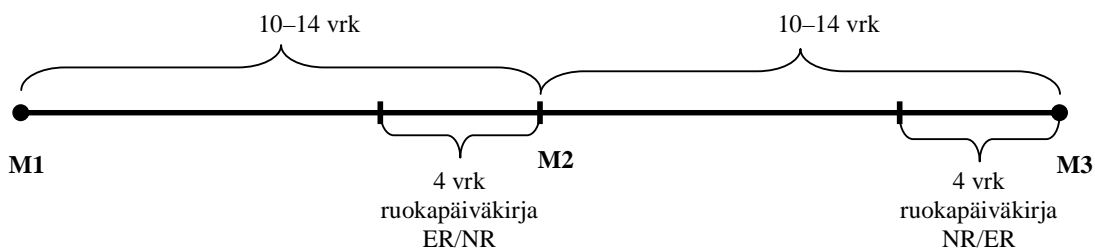
Tutkimus sisälsi kolme neljän päivän ruokapäiväkirjajaksoa (esim. Toeller ym.). Ensimmäisen aikana koehenkilöt nauttivat normaaliravintoa. Näiden neljän päivän avulla tarkistettiin, ettei koehenkiöiden ruokavalio ole kovasti normaalista poikkeava. Ensimmäisen ruokapäiväkirjajakson jälkeen koehenkilöt jaettiin kahteen ryhmään, joista toinen nautti toisella ja toinen kolmannella kerralla normaaliruokavalion (NR) sijaan elimistöön emästä tuottavaa vähäproteiinista kasvisruokavaliota (ER).

Emästä tuottava ruokavalio saatiin laskemalla ravintoainesisällön perusteella PRAL-arvo, joka kertoo tuottaako kyseinen ruoka-aine elimistössä happoja vai emäksiä. PRAL laskettiin kaavalla  $PRAL \text{ (mEq/100 g)} = 0,49 \times \text{proteiini (g/100 g)} + 0,037 \times \text{fosfori (mg/100 g)} - 0,021 \times \text{kaliumpitoisuus (mg/100 g)} - 0,026 \times \text{magnesium (mg/100 g)} - 0,013 \times \text{kalsium (mg/100 g)}$ . (Remer ym. 2003). Ruoka-aineiden PRAL-arvot on laskettu 100 g ruoka-ainetta kohti, ja luku muuttuu sen mukaan, paljonko ruoka-ainetta syödään. Esimerkiksi PRAL on yhdelle desilitralle appelsiinitäysmehua  $-3,62$  ja litralle  $-36,2$ . Elimistöön pyrittiin saamaan aikaiseksi emäsylijäämä ravinnolla jonka  $PRAL < 0$ . Tällöin ruokavalio sisälsi paljon kasviksia ja hedelmiä, erityisesti kurkkua, paprikkaa, porkkanaa, tomaattia sekä rusinoita, sitrushedelmiä ja banaania. Ruokavalioon kuului myös peruna. Proteiinia pyrittiin

sisältämään ruokavalioon mahdollisimman vähän. Koehenkilöille annettiin tarkat ohjeet, joiden mukaan heidän tuli noudattaa syöminen. Ruoka-aineiden ravintoainesisällöt saatiin Kansanterveyslaitoksen ravitsemusyksikön ylläpitämästä elintarvikkeiden koostumustietopankista Finelistä (<http://www.fineli>).

Koehenkilöille annettiin valmiit lomakkeet ruokapäiväkirjan täyttämistä varten. Ruokapäiväkirjaan merkittiin neljän vuorokauden ajalta kaikki syödyt ja juodut ruoat mahdollisimman tarkasti ja totuudenmukaisesti. Normaali-ruokapäiväkirjajaksojen aikana tuli syödä mahdollisimman normaalisti. Vähäproteiinisen ravintojakson aikana koehenkilöt söivät vakioitua ruokaa. Heille annettiin lomake, johon oli listattu sallitut ruoat jakson aikana. Tähän listaan koehenkilöt merkitsivät, paljonko kyseistä ruokaa oli päivän aikana nautittu.

Jokaisen ruokapäiväkirjajakson jälkeen järjestettiin suora maksimaalinen hapenottokyvynmittaus polkupyöräergometrillä. Ensimmäisen mittauksen (M1) hapenottokyvyn perusteella määritettiin polkemistehot seuraaviin kahteen mittaukseen (M2 ja M3), joissa poljettiin kolme 10 minuutin kuormaa: 40 %, 60 % ja 80 %:n tehoilla maksimi- hapenottokyvystä. Viimeinen kuorma poljettiin 100 %:n teholla uupumukseen asti. Jokaisen kuorman jälkeen pidettiin neljän minuutin tauko, jolloin otettiin verinäytteet käsivarren laskimosta ja sormenpäältä. Myös heti testin päättymisen jälkeen otettiin verinäytteet. Mittaus 2 suoritettiin 10–14 vuorokauden kuluttua alkumittauksesta ja mittaus 3 10–14 vuorokauden kuluttua M2:sta.



Koehenkilöiltä otettiin paastoverinäytteet ennen 2. ja 3. ruokapäiväkirjajakson aloittamista sekä ennen mittauksia M2 ja M3. Ennen mittauksia otetun paastoverinäytteen jälkeen koehenkilö sai syödä vakioitun määrän ruokaa. Vähäproteiininen ravinto sisälsi kaksi perunapiirakkaa, kurkkua, 40 % rasvaa sisältävää margariinia, 2 dl appelsiini-

täysmehua, porkkanan, banaanin ja 1 dl rusinoita. Normaaliravintoa nauttineet saivat syödä kaksi puolikasta Vaasan ruispalaa, margariinia, yhden palvikinkkusiivun, banaanin, kaksi viipaleetta juustoa ja 2 dl appelsiinitäysmehua. Lisäksi koehenkilöiltä otettiin verinäytteet mittauksissa M2 ja M3 juuri ennen mittauksen aloittamista ja jokaisen kuorman jälkeen.

Ennen paastoverinäytteitä koehenkilöt eivät saaneet nauttia ruokaa eivätkä juomaa 10 tuntiin ja välttää alkoholia 48 h, liikuntaa ja tupakkaa 24 h sekä kahvia ja teetä 18 h. Testiruokajaksojen aikana tupakka ja alkoholi olivat kokonaan kiellettyjä.

### 4.3 Aineiston keräys ja analysointi

Verinäytteet otti ja analysoi ammattitaitoinen laborantti Jyväskylän yliopiston liikunta-biologian laitoksen laboratoriossa. Verinäytteet otettiin sormenpään kapillaareista ja käsivarren laskimosta. Kaikki mittaukset tehtiin Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratoriossa.

Verinäytteistä määritettiin happo-emästasyyden tarkastelemiseksi pH, ionisoitu kalsium, kalium ja magnesium. Verinäytteet analysoitiin Nova Biomedical STAT profile pHoX Plus L-verikaasuanalysointilaitteella (Nova Biomedical, Waltham, MA, USA). Analysointilaitteen valmistajan pH:lle määrittämä  $r^2$  on 0,972 sekä keskihajonta ajon sisällä (within-run) 0,005, kalsiumin variaatiokerroin on 2,0 % ja päivästä toiseen 4,0%. Kalsiumin keskihajonta on sekä ajon sisällä että päivästä toiseen 0,05 mmol/l. Sille määritetty  $r^2$  on 0,912. Kaliumin variaatiokerroin ajon sisällä on 1,5 % ja päivästä toiseen 3,0 %. Kaliumin keskihajonta on sekä ajon sisällä, että päivästä toiseen 0,15 mmol/l. Sille määritetty  $r^2$  on 0,912. (Nova STAT Profile pHoXPusL Manual 2001.) Magnesiumipitoisuus analysoitiin Konelab 20Xti:lla. Magnesiumin variaatiokerroin ajon sisällä on 3,5 % ja päivästä toiseen 4,7 %. Magnesiumin keskihajonta on ajon sisällä 0,04 mmol/l ja päivästä toiseen 0,05 mmol/l.

Ruokapäiväkirjat analysoitiin Nutrica 3.11-ravintolaskentaohjelmalla. (Kansaneläkelaitos 1999). Kaikilta analysoiduilta jaksoilta tarkasteltiin kokonaisenergian ja energiara-

vintoaineiden saantia sekä energiaravintoaineiden suhteellisia osuuksia kokonaisenergiasta.

Polkupyöräergometritesti (Kuntotestauksen käsikirjan (2004) malleja mukailten) tehtiin Monarkin pyörällä ja testiohjelma muokattiin Monarkin tietokoneohjelmalla. Hengityskaasumuuttujia mitattiin hengityskaasuanalysointilaitteella, jonka avulla analysoitiin jokaisen kuorman lopusta hapenkulutus ( $VO_2$ ), todellinen happiprosentti (true  $O_2\%$ ) ja hengitysosamäärä (RQ).

#### **4.4 Tilastolliset menetelmät**

Verikokeista ja ravintoanalyseista saadut tulokset analysoitiin SPSS 15.0 for Windows-ohjelmalla. Riippuvien otosten parittaisen t-testin avulla verrattiin normaalin ja testiruokavalion jälkeen otettujen paastoverinäytteiden arvoja keskenään. Maksimaalisen suorituksen aikana jokaisen kuorman jälkeen otettujen verinäytteiden arvoja verrattiin normaalin ja testiruokavalion suhteen toistomittausten varianssianalyysillä. Kuormituksen aikaisten verinäytteiden pH-arvojen ja kalsiumpitoisuuksien välisiä korrelaatioita määritettiin Pearsonin kaksisuuntaisen korrelaatiokertoimen avulla.



## 5 TULOKSET

### 5.1 Ravinnon vaikutus happo-emästatapainoon

Taulukossa 1 on normaalin ja emästä tuottavan ruokavalion ravintoainesisällöt. Kivennäisaineista taulukkoon merkityt kalsium, kalium ja magnesium ovat tämän tutkimuksen kannalta olennaiset liittyen luun metaboliaan. Vuorokausisuositukset kyseisille kivennäisaineille ovat kalsium 800 mg, kalium 3500 mg ja magnesium 350 mg. Ravintoanalyysit on tehty neljän päivän ruokapäiväkirjajaksojen pohjalta. Kalsiumpitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi matalampi emästä tuottavassa ravinnossa kuin normaaliravinnossa ( $p=0,02$ ) ja kaliumpitoisuus tilastollisesti merkitsevästi korkeampi emästä tuottavassa ruokavaliossa ( $p= 0,00$ ). Magnesiumpitoisuuksissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ruokavalioiden välillä.

Taulukko1. Koehenkilöiden keskimääräinen ravintoaineiden saanti normaalin- ja emästä tuottavan ruokavalion aikana paastoverinäytteissä neljän vuorokauden käsittelyn jälkeen (keskiarvo  $\pm$  SD). \*  $p < 0.05$

|                    | Normaaliravinto | Emäsravinto      |
|--------------------|-----------------|------------------|
| Energia (MJ)       | 11,3 $\pm$ 2,2  | 9,92 $\pm$ 1,4   |
| Energia (kcal)     | 2703 $\pm$ 531  | 2303 $\pm$ 489   |
| Proteiini (%)      | 18,5 $\pm$ 3,4  | 11,2 $\pm$ 1,4   |
| Proteiini (g)      | 122 $\pm$ 26,6  | 64,7 $\pm$ 9,3   |
| Hiilihydraatti (%) | 48,0 $\pm$ 7,3  | 61,2 $\pm$ 4,9   |
| Hiilihydraatti (g) | 323 $\pm$ 101   | 356 $\pm$ 46,0   |
| Rasva (%)          | 32,3 $\pm$ 4,6  | 27,3 $\pm$ 3,98  |
| Rasva (g)          | 97,7 $\pm$ 17,0 | 74,0 $\pm$ 18,7  |
| Kalsium (mg)       | 1498 $\pm$ 364  | 973 $\pm$ 186*   |
| Kalium (mg)        | 5131 $\pm$ 1117 | 7370 $\pm$ 1278* |
| Magnesium (mg)     | 500 $\pm$ 162   | 485 $\pm$ 90     |

Taulukkoon 2 on merkitty paastoverinäytteestä sekä kuormituksen jälkeisestä verinäytteestä saadut pH-arvot. Normaalin ruokavalion ja emästä tuottavan ruokavalion jälkeen mitattujen paastoverinäytteiden pH-arvot olivat samat (7,45). Myöskään kuormituksen jälkeen otettujen verinäytteiden pH-arvoilla ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa. Kuitenkin molempien ruokavalioiden aikana paastoverinäytteen ja kuormituksen jälkeisen verinäytteen välillä oli tilastollisesti merkitsevät erot (normaaliruokavalio  $p=0,02$ , emäsruekavalio  $p=0,00$ ).

Taulukko 2. Veren pH-arvot eri ruokavalioiden jälkeen paastoverinäytteissä ja kuormituksen jälkeen otetuissa verinäytteissä (keskiarvo  $\pm$  SD). \*  $p < 0.05$

| pH                     | Normaaliravinto  | Emäsravinto      |
|------------------------|------------------|------------------|
| Paasto                 | 7,45 $\pm$ 0,02  | 7,45 $\pm$ 0,02  |
| Kuormituksen jälkeinen | 7,33 $\pm$ 0,08* | 7,34 $\pm$ 0,03* |

## 5.2 Ravinnon ja liikunnan vaikutus kalsium-, kalium- ja magnesiumpitoisuuksiin veressä

Paastoverinäytteiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja kalsiumpitoisuuksissa (taulukko 3). Myöskään kuormituksen jälkeisten näytteitten välillä ei merkitsevää eroa ollut, tosin normaaliruokavaliojakson jälkeinen kuormitusnäyte oli hieman suurempi ( $p=0,108$ ). Paasto- ja kuormitusnäytteiden välillä oli molempien, normaaliravinnon ja emästä tuottavassa ravinnon aikana, tilastollisesti merkitseviä eroja kalsiumpitoisuuksissa (normaaliravinto  $p=0,038$ , emästä tuottava ravinto  $p= 0,044$ ).

Normaaliravinnon ja emästä tuottavan ravinnon paastoverinäytteiden välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero kaliumpitoisuuksissa ( $p=0,021$ ). Kuormituksen jälkeisissä näytteissä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa eri ruokavalioiden välillä. Veren magnesiumpitoisuuksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja näytteiden välillä.

Taulukko 3. Ionisoidun kalsiumin ( $\text{Ca}^{2+}$ ), kaliumin ja magnesiumin pitoisuudet (mmol/l) veressä eri ruokavalioiden jälkeen paastoverinäytteissä ja kuormituksen jälkeisissä verinäytteissä (keskiarvo  $\pm$  SD). \*  $p < 0.05$

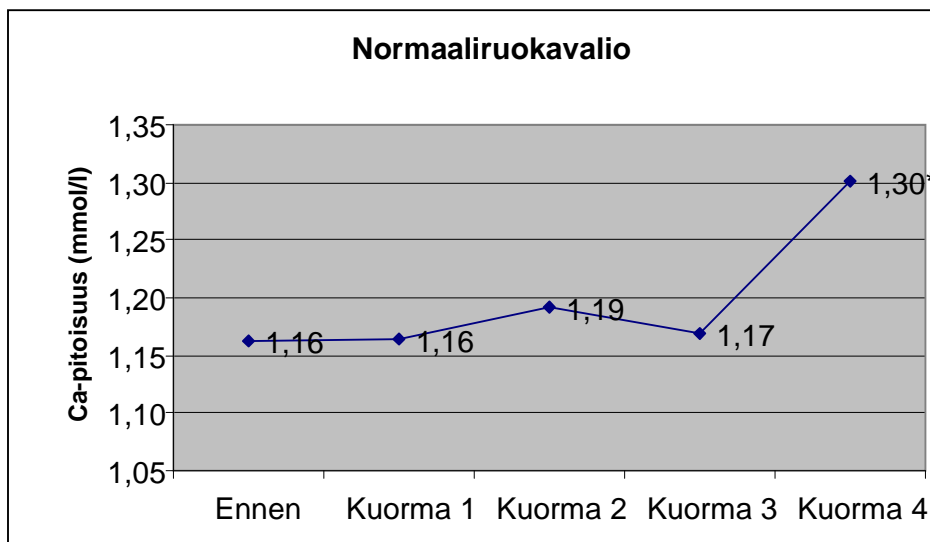
|           | Normaaliravinto<br>paasto | Normaaliravinto<br>kuormitus | Emäsravinto<br>paasto | Emäsravinto<br>kuormitus |
|-----------|---------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Kalsium   | 1,19 $\pm$ 0,11           | 1,30 $\pm$ 0,06*             | 1,20 $\pm$ 0,08       | 1,26 $\pm$ 0,04*         |
| Kalium    | 4,13 $\pm$ 0,19           | 4,43 $\pm$ 0,26              | 4,39 $\pm$ 0,29*      | 4,60 $\pm$ 0,33          |
| Magnesium | 0,88 $\pm$ 0,07           | 0,91 $\pm$ 0,08              | 0,95 $\pm$ 0,13       | 0,92 $\pm$ 0,09          |

Normaaliruokavaliokjakson jälkeen suoritettuna polkupyöräergometrillä tehdyn maksimaalisen hapenottokyvyn mittauksen aikana veren ionisoidun kalsiumin pitoisuus muuttui kuormien välillä. Kuorman 3 ja kuorman 4 kalsiumpitoisuuden arvot eroavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ( $p=0,00$ ). Kuormien jälkeisten verinäytteiden pH:n ja kalsiumpitoisuuden välinen korrelaatio oli  $-0,795$  ( $p=0,108$ ).

Taulukko 4. Normaaliruokavaliok. Veren ionisoidun kalsiumin ( $\text{Ca}^{2+}$ ) pitoisuudet maksimaalisen hapenottokyvyntestin kuormien jälkeen (keskiarvo  $\pm$  SD). \*  $p < 0.05$

Kuormat 40%, 60%, 80% ja 100% maksimaalisesta hapenottokyvystä.

|                     | Ennen           | Kuorma 1        | Kuorma 2        | Kuorma 3        | Kuorma 4         |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Kalsium<br>(mmol/l) | 1,16 $\pm$ 0,09 | 1,16 $\pm$ 0,06 | 1,19 $\pm$ 0,03 | 1,17 $\pm$ 0,05 | 1,30 $\pm$ 0,06* |



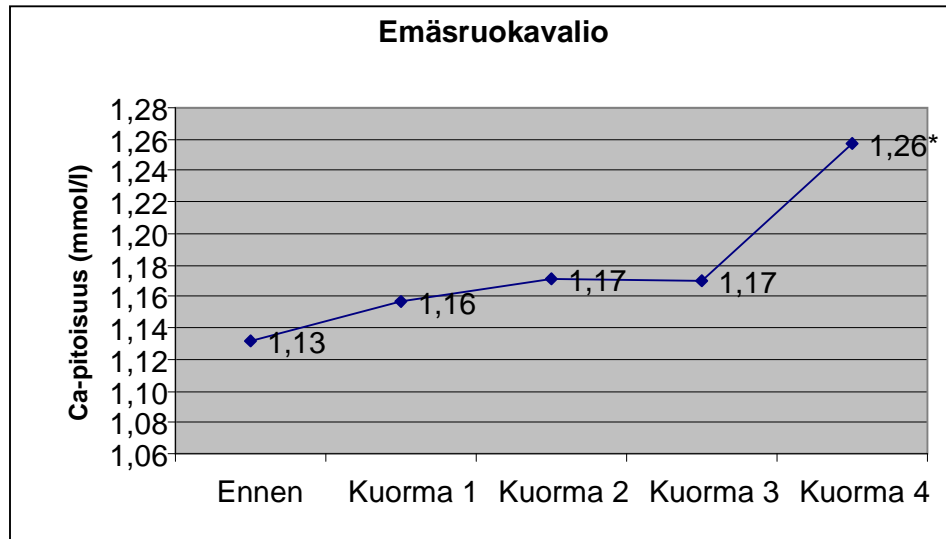
Kuvio 1. Normaaliruokavalio. Veren ionisoidun kalsiumin ( $\text{Ca}^{2+}$ ) pitoisuudet maksimaalisen hapenottokyvyn testin jälkeen.

Myös emästä tuottavan ruokavalion jälkeen suoritettuna maksimaalisen hapenottokyvyn testin aikana kalsiumpitoisuudet nousivat. Kuorman 3 ja kuorman 4 jälkeen otettujen verinäytteiden kalsiumpitoisuudet erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ( $p=0,00$ ). Kuormien jälkeisten verinäytteiden pH:n ja kalsiumpitoisuuden välinen korrelaatio oli  $-0,793$  ( $p=0,110$ ).

Taulukko 5. Emäsröokavalio. Veren ionisoidun kalsiumin ( $\text{Ca}^{2+}$ ) pitoisuudet maksimaalisen hapenottokyvyn testin jälkeen (keskiarvo  $\pm$  SD). \*  $p < 0,05$

Kuormat 40%, 60%, 80% ja 100% maksimaalisesta hapenottokyvystä.

|                  | Ennen           | Kuorma 1        | Kuorma 2        | Kuorma 3        | Kuorma 4          |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| Kalsium (mmol/l) | $1,13 \pm 0,05$ | $1,16 \pm 0,06$ | $1,17 \pm 0,07$ | $1,17 \pm 0,05$ | $1,26 \pm 0,04^*$ |



Kuvio 2. Emäsrüokavalio. Veren ionisoidun kalsiumin (Ca<sup>2+</sup>) pitoisuudet maksimaalisen hapenottotestin kuormien jälkeen.

## 6 POHDINTA

**Päätulos.** Tämän tutkimuksen päätuloksena oli, että polkupyöraergometrillä tehty fyysinen tehoiltaan asteittain nouseva suoritus, jossa viimeinen kuorma poljetaan maksimaalisella teholla, nostaa kuormituksen lopussa veren ionisoidun kalsiumin pitoisuuksia verrattuna paastoarvoihin.

**Ravinto ja pH.** Tässä tutkimuksessa ravinnolla ei ollut vaikutusta happo-emästasapainoon, kuten kirjallisuuden perusteella olisi odottanut. (Remer ym. 2003, Arnett 2003, Tucker ym. 2001). Tutkimuksessa käytetty vakioitu emästä tuottava ravinto oli saatu laskemalla ravinnon emäskuorma ravintoainesisällön perusteella PRAL-arvo, joka kertoo tuottaako kyseinen ruoka-aine elimistössä happoja vai emäksiä. Ruoka-aineiden ravintoainesisällöt saatiin Kansanterveyslaitoksen ravitsemusyksikön ylläpitämästä elintarvikkeiden koostumustietopankista Finelistä. Koehenkilöiden paastoverinäytteistä mitatut pH -arvot normaaliruokavalion ja emästä tuottavan ruokavalion jälkeen olivat molemmat 7,45. Laskimoveren pH on normaalioloissa noin 7,35–7,42, joten näin ollen molemmat ruokavaliot olisivat voineet olleet pääasiassa emästä tuottavaa. Koehenkilöiden normaalisti noudattama normaaliravinto saattoi siis olla liian vähän happoja tuottavaa tähän tutkimukseen, jotta tuloksia olisi saatu näkyville. Toisaalta vakioitua emästä tuottavaa ravintoa olisi voinut saada vielä emästä tuottavammaksi. Buclin ym. (2001) vertailivat tutkimuksessaan kahden emästä ja happoa tuottavan ruokavalion vaikutusta veren pH -arvoon sekä kalsiumpitoisuuteen. Tutkimuksessa koehenkilöt nauttivat samantapaista ravintoa kuin tässäkin tutkimuksessa lisänä kuitenkin kaksi litraa runsaasti natriumbikarbonaattia sisältävää mineraalivettä, jonka lisääminen myös tämän tutkimuksen ruokavalioon olisi voinut tuottaa haluttuja tuloksia. Lisäksi Buclin ym. tutkimuksessa kalsiumin, fosfaatin, natriumin, proteiinien ja kaloreiden määrä oli vakioitu. Tässä tutkimuksessa puolestaan energiamäärät olivat normaaliruokavaliojaksoilla huomattavasti suurempia (2703 kcal/vrk) kuin emästä tuottavan jakson aikana (2303 kcal/vrk). Myös proteiinin määrä oli suurempi normaaliruokavaliojaksolla (18,5 %E vrt. 11,2 %E). Eläinproteiinin suuri määrä ruokavaliossa yhdistetään pääsääntöisesti vetyionipitoisempaan vereen niiden tuottamien happojen kuten rikki- ja fosforihapon ansiosta. (Selmeyer ym. 2001). Normaaliruokavalion suuren proteiinimäärän olisikin

kuvitellut laskevan veren pH:ta. Pieni koehenkilömäärä (n=9) saattoi osaltaan hieman vaikuttaa siihen, ettei eroavaisuuksia saatu esille.

**Kalsium.** Ravinnosta saadun kalsiumin määrä oli tilastollisesti merkitsevästi matalampi emästä tuottavassa ravinnossa verrattuna normaaliruokavalioon ( $p=0,02$ ). Vaikka ravinnon kalsiumpitoisuus erosikin tilastollisesti merkittävästi eri ruokavalioissa, paastoverinäytteiden kalsiumpitoisuuksien välillä ei ollut eroa. Tässä tutkimuksessa analysoimme vain ionisoidun kalsiumin määrää veressä. Asidoosin aikana suurin osa kalsiumista on ionisoidussa muodossa ja vähemmän kalsiumia on sitoutunut plasmaproteiineihin ja vastaavasti alkaloosin aikana suurempi osa kalsiumista on sitoutuneena proteiineihin. (Guyton & Hall, s.371). Voisi olettaa, että koska tässä tutkimuksessa veren pH ei muuttunut eri ruokavalioiden jälkeen myös ionisoidun kalsiumin määrä pysyi tämän vuoksi samana. Ravinnosta saadun kalsiumin määrät pysyivät myös molemmissa ruokavalioissa Kansanterveyslaitoksen antamien suositusarvojen sisällä (800–2500 mg/vrk). Normaalisti ravinnon kalsiumista imeytyy noin 25 - 35 % vuorokaudessa. ([http://www.avoin.helsinki.fi/materiaalit/ravitsemustiede/04\\_kivennais\\_kalsium.shtml](http://www.avoin.helsinki.fi/materiaalit/ravitsemustiede/04_kivennais_kalsium.shtml)). Loput nautitusta kalsiumista poistuu elimistöstä ulosteen mukana, joten luultavasti ylimäärä oli myös tässä tapauksessa näin poistunut. (Guyton & Hall, s. 372).

**Kalium.** Kaliumpitoisuus emästä tuottavassa ravinnossa oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi ( $P=0,00$ ). Myös veren kaliumpitoisuudessa oli tilastollisesti merkitsevä ero normaaliravinnon ja emästä tuottavan ravinnon paastoarvojen välillä pitoisuuden ollessa suurempi emästä tuottavan ravinnon jälkeisessä paastoverinäytteessä ( $p=0,021$ ). Myös kaliumin määrään on vaikutusta veren happamuudella: metabolinen asidoosi lisää kaliumin konsentraatiota solun ulkoisessa nesteessä ja alkaloosi laskee pitoisuutta. (Guyton & Hall, s. 366). Tässä tapauksessa veren pH:lla ei kuitenkaan ollut merkitystä, koska pH oli molemmissa tapauksissa sama. Näin ollen voisi olettaa, että johtuen suuremmasta nautitusta kaliummäärästä emästä tuottavan ravinnon aikana (7370 mg/vrk vrt. 5130 mg/vrk) myös veren kaliumpitoisuus oli suurempaa emästä tuottavan ravintojakson jälkeisessä paastoverinäytteessä. Lisäksi oletusta puoltaa se, että toisin kuin ravinnon kalsiumin määrä, kaliumin määrä oli molemmissa ruokavalioissa selvästi yli suositusten (3100–3700 mg/vrk miehillä) ja emästä tuottavassa ravinnossa jopa noin kaksinkertainen enimmäissuositukseen verrattuna. Tutkimukset kaliumin vaikutuksista kalsiumin säilymiseen luussa ovat ristiriitaisia ja lisää tutkimuksia tarvitaan. Tucker ym.

(2001) tulivat tutkimuksessaan siihen tulokseen, että riittävä kaliumin saanti vaikuttaisivat olennaisesti kalsiumin pysymiseen luussa. Tässä tutkimuksessa kaliumin suurella saannilla emäsruokavaliosta ei näyttänyt olevan mitään vaikutusta kalsiumin määrään veressä ainakaan näin lyhyellä aikavälillä.

**Magnesium.** Kalsiumin imeytymisen on todettu edellyttävän myös magnesiumin saantia. (Tucker ym. 2001). Tässä tutkimuksessa molemmista, emäs- ja normaaliruokavaliosta, saatiin lähes sama määrä magnesiumia (normaaliruokavalio  $500 \pm 162$  mg, emäsruokavalio  $485 \pm 90$  mg). Vaikka kalsiumia saatiinkin huomattavasti vähemmän emäsruokavaliosta, veren paastoarvoissa kalsiumin määrät olivat samat molempien ruokavalioiden jälkeen. Magnesiumin määrän ollessa sama, olisi voinut olettaa emäsruokavaliion veren kalsiumpitoisuuden ollen pienempi. Magnesiumin saannin vaikutukset eivät näin ollen tässä tutkimuksessa näkyneet veren kalsiumin määrässä.

**Fyysinen kuormitus ja veren kalsiumpitoisuus.** Tässä tutkimuksessa koehenkilöt suorittivat rankan fyysisen kuormituksen nautittuaan sitä ennen neljä päivää normaali- tai emäsruokavaliota. Fyysinen suoritus tehtiin polkupyöräergometrillä ja poljettavat kuormat nousivat kymmenen minuutin välein kuormien ollessa 40, 60 80 ja 100 % maksimihapenottokyvystä. Tulosten mukaan molemmissa ruokavaliotapauksissa veren ionisoidun kalsiumin pitoisuus nousi tilastollisesti merkitsevästi kuormituksen aikana (normaaliravinto  $p=0,038$ , emästä tuottava ravinto  $p=0,044$ ). Veren pH laski kuormituksen aikana tilastollisesti merkitsevästi (normaaliruokavalio  $p=0,02$ , emäsruokavalio  $p=0,00$ ). Korrelaatio kuormituksesta aiheutuvan veren pH:n laskun ja ionisoidun kalsiumin välillä oli  $-0,795$  ( $p=0,108$ ) normaaliruokavaliion aikana ja  $-0,793$  ( $p=0,110$ ) emäsruokavaliion aikana. Koska otoskoko on pieni ja korrelaatiokerroin on tilastollisesti suuntaa antava, voidaan näiden muuttujien välillä todeta olevan pientä riippuvuutta.

Normaaliruokavaliota nauttineiden koehenkilöiden veren kalsiumpitoisuus nousi hieman enemmän kuin emäsruokavaliota nauttineiden ( $p=0,108$ ) ja toisaalta myös kuormituksen jälkeisissä pH -arvoissa voi huomata erittäin pienen eron normaali- ja emäsruokavaliion välillä normaaliruokavaliion jälkeisen pH-näytteen ollessa hieman matalampi (normaaliruokavalio pH  $7,33 \pm 0,08$  vrt. emäsruokavalio pH  $7,34 \pm 0,03$ ). Voi siis olettaa, että tässä näkyy pieniä viitteitä siitä, että normaaliruokavaliota nauttineiden koehenkilöiden kuormituksen jälkeisen verinäytteen suurempi ionisoidun kalsiumin pitoi-



suus johtuu hieman happamammasta verestä. Juuri suoritusta ennen paastoverinäytteiden jälkeen oli nautittu joko normaali tai emästä tuottava aamupala, jolla saattoi olla vaikutusta veren happamuuteen. Näin ollen ravinnolla olisi ollutkin pientä vaikutusta veren happamoitumiseen, mikä näkyi tässä tutkimuksessa vasta suorituksen aikana. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei kuitenkaan saatu aikaan.

Mielenkiintoista on kalsiumpitoisuuden suuri nousu 3. kuorman aikana eli tehon ollessa 80 % maksimaalisesta hapenottokyvystä. Suoritustehon noustessa näin korkealle anaerobiset energiantuottotavat kuten glykolyysi tulevat tärkeään rooliin. Glykolyysin lopputuotteena syntyy laktaatti- ja vetyioneita, jotka siirtyvät diffuusion ja aktiivisen kuljetuksen avulla lihassoluista verenkiertoon. Tämän ansiosta veri happamoituu eli pH laskee. (Keskinen ym. 2004 s.52). Tästä tutkimuksesta saadut tulokset ovatkin samoilla linjoilla aiempien polkupyöräergometrillä tehtyjen fyysiseen suoritukseen ja kalsiumtasapainoon liittyvien tutkimusten tulosten kanssa. Kristoffersson ym. (1994) tutkivat 30 sekunnin maksimaalisen suorituksen vaikutuksia kalsiumpitoisuuteen. Tämä suoritus on lähellä tämän tutkimuksen viimeisen kuorman kanssa. Kristoffersson ym. olettivat, että ionisoidun kalsiumin lisääntyminen veressä ja parathormonipitoisuuden lasku johtuivat juuri anaerobisen suorituksen aiheuttamasta veren happamoitumisesta. Ljunghall:n ym. tutkimuksissaan (1984 ja 1986) tulivat tulokseen, että kuorman noustessa yli 65 % maksimaalisesta hapenottokyvystä ionisoidun kalsiumin määrä veressä alkoi nousta. Syyksi määritettiin tässäkin tapauksessa syntynyt asidoosi, joka saa aikaan mineraalien liukemista luusta. Ljunghall ym. olivat kuitenkin sitä mieltä, että kohtalaisella intensiteetillä, noin 50 % maksimaalisesta hapenottokyvystä tehdyn työn aikana ionisoidun kalsiumin pitoisuus veressä jopa laski. Tässä tutkimuksessa laskua ei havaittu kyseisellä teholla, mutta veren kalsiumpitoisuus pysyi melko samoina 80 % VO<sub>2</sub> maksimia alemmilla tasoilla.

Voidaankin siis olettaa, että kohtalaisella teholla suoritettu liikunta ei vaikuta kalsiumpitoisuuksiin tai siitä voi olla jopa hyötyä kalsiumin pysymiseen luussa. Suoritustehon noustessa anaerobisen kynnyksen yläpuolelle veren kalsiumpitoisuus nousee huomattavasti ja tämä voi heikentää pitkällä aikavälillä luuntiheyttä. Toisaalta Bushinsky (2001) totesi, että tehoiltaan korkean liikuntasuorituksen aiheuttama respiratorinen asidoosi vaikuttaa huomattavasti vähemmän luun mineraalien kuten kalsiumin poistumiseen luusta kuin metabolisen asidoosi. Respiratorisen asidoosin jälkeen kalsiumin on myös

havaittu kerrostuvan uudelleen luun pinnalle. Tässä tutkimuksessa verinäyte olisi pitänyt ottaa myös esimerkiksi 30 minuutin ja tunnin kuluttua suorituksesta, jotta veren kalsiumpitoisuuden muutoksia olisi voinut seurata. Emästä tuottava ravinto saattaa hieman estää fyysisestä suorituksesta aiheutuvaa veren kalsiumpitoisuuden nousua, mutta tämä tutkimus ei antanut tilastollisesti merkitsevää näyttöä kyseisestä. Lisää tutkimuksia etenkin fyysisen suorituksen ja emästä tuottavan ruokavalion vaikutuksista kalsiummetaboliaan tarvitaan vielä runsaasti.

**Jatkotutkimukset.** Tulevaisuudessa tutkimusta tulisi muuttaa niin, että testiruokavalio muokattaisiin vielä enemmän emästä tuottavaksi. Ruokavalion tulisi sisältää enemmän papuja, pinaattia, hedelmiä, avocadoa ja muita erittäin negatiivisen PRAL -arvon saaneita ruoka-aineita. Proteiinin lähteeksi emäsruekavalioon olisi kiinnostavaa lisätä kasvisproteiini. Lisäksi päivittäinen natriumbikarbonaattia sisältävän normaalin mineraaliveden nauttiminen tulisi lisätä ruokavalioon. Kiinnostavaa olisi myös mitata veren parathormonipitoisuuksia ja tutkia niiden korrelaatiota ionisoidun kalsiumin muutoksiin. Myös veren kokonaiskalsiumpitoisuus tulisi mitata. Analyysiin olisi hyvä ottaa mukaan myös luun metaboliaan vaikuttaviin tekijöitä kuten C-telopeptidipitoisuudet.

## 7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

1. Jotta PRAL -laskukaavalla arvioitu emästä tuottava ruokavalio vaikuttaisi veren kalsiumpitoisuuksiin näin lyhyellä aikavälillä, ruokavalion tulisi sisältää paljon PRAL -kaavalla mahdollisimman negatiivisia arvoja saaneita ruoka-aineita.
2. Emäksisestä ravinnosta saadulla lähes kaksinkertaisella kaliummäärällä ei näyttänyt olevan mitään vaikutusta kalsiumin määrään veressä ainakaan näin lyhyellä aikavälillä.
3. Magnesiumin saannilla ei näyttänyt tässä tutkimuksessa olevan merkitsevää vaikutusta kalsiumin imeytymiseen verestä.
4. Veren pH vaikuttaa ionisoidun kalsiumin määrään veressä. Mitä matalampi veren pH-arvo on, sitä suurempi on veren ionisoidun kalsiumin pitoisuus.
5. Fyysisen suorituksen tehon noustessa yli 80 % maksimaalisesta hapenottokyvystä veren kalsiumpitoisuus nousee huomattavasti lisääntyneen anaerobisen energiantuottotavan seurauksesta johtuvan veren happamoitumisen vuoksi. Veren kalsiumpitoisuuden nousulla saattaa pitkällä aikavälillä olla vaikutusta luun tiheyden heikkenemiseen, jos taso pysyy korkeana jatkuvasti. Akuuteilla vähän aikaa kestävillä tason nousuilla tuskin on negatiivista vaikutusta.
6. Kohtalaisella, noin 40 - 60 % maksimaalisesta tehosta suoritettulla pitkäkestoisellakin fyysisellä kuormituksella, ei näytä olevan negatiivista vaikutusta luun tiheyteen.
7. Emästä tuottava ruokavalio saattaa vähentää kalsiumpitoisuuden nousua maksimaalisen kuormituksen yhteydessä.

## 8 LÄHTEET

Arnett, T. 2003. Regulation of bone cell function by acid–base balance. *Proceedings of the Nutrition Society* 62 (2), 511–520.

Borg, P., Fogelholm, M. & Hiilloskorpi, H. 2005. Liikkujan ravitsemus – teoriasta käytäntöön. EDITA, Helsinki.

Brahm, H., Piehl–Aulin, K. & Ljunghall, S. 1996. Biochemical markers of bone metabolism during distance running in healthy, regularly exercising men and women. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 6, 26–30.

Bushinsky, D. 2001. Acid–base imbalance and the skeleton. *European Journal of Nutrition* 40, 238–244.

Campbell, M. & Farrell, S. 2006. *Biochemistry*. Thomson Brooks/Cole, International Student Edition, USA.

Cardinale, M., Leiper, P., Farajian, P. & Heer, M. 2007. Whole–body vibration can reduce calciuria induced by high protein intakes and may counteract bone resorption: A preliminary study. *Journal of Sport Sciences* 25(1), 111–119.

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 21<sup>st</sup> century. *American Journal of Clinical Nutrition* 81, 341–354.

Guyton, A. & Hall, J. 2006. *Textbook of Medical Physiology*. Elsevier Saunders, Philadelphia, Pennsylvania.

Kalhoff, H. & Manz, F. 2001. Nutrition, acid–base status and growth in early childhood. *European Journal of Nutrition* 40, 221–230.

Keskinen, K., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2004. Kuntotestauksen käsikirja. Liikuntatieteellinen seura ry.

Kristoffersson, A., Hultdin, J., Holmlund, I., Thorsten, K. & Lorentzon, R. 1995. Effects of Short-Term Maximal Work on Plasma Calcium, Parathyroid Hormone, Osteocalcin and Biochemical Markers of Collagen Metabolism. *International Journal of Sport Medicine* 16 (3), 145–149.

Ljunghall, S., Joborn, H., Roxin, L. E., Rastad, J., Wide, L. & Åkerström, G. 1986. Prolonged low-intensity exercise raises the serum parathyroid hormone levels. *Clinical Endocrinology* 25, 535–542.

Ljunghall, S., Joborn, H., Benson, L., Fellström, B., Wide, L. & Åkerström, G. 1984. Effects of physical exercise on serum calcium and parathyroid hormone. *European Journal of Clinical Investigation* 14, 469–473.

Maurer, M., Riesen, W., Muser, J., Hulter, H. & Krapf, R. 2003. Neutralization of Western diet inhibits bone resorption independently of K intake and reduces cortical secretion in humans. *American Journal of Renal Physiology* 284, F32–F40.

McArdle, W., Katch, F. & Katch, V. 2001. *Exercise Physiology – Energy, Nutrition, and Human Performance*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, Pennsylvania.

Remer, T. 2001. Influence of nutrition on acid–base balance – metabolic aspects. *European Journal of Nutrition* 40, 214–220.

Remer, T., Dimitriou, T. & Manz, F. 2003. Dietary potential renal acid load and renal net acid excretion in healthy, free-living children and adolescents. *American Journal of Clinical Nutrition* 77, 1255–1260.

Sellmeyer, E., Stone, K., Sebastian, A. & Cummings, S. 2001. A high ratio of dietary animal to vegetable protein increases the rate of bone loss and the risk of fracture in postmenopausal women. *American Journal of Clinical Nutrition* 73, 118–122.

Shepherd, R. 2005. Osteoporosis. Berkshire Encyclopedia of World Sport 3.

Toeller, M., Buyken, A., Heitkamp, G., Milne, R., Klischan, A. & Gries, A. 1997. Repeatability of three-day dietary records in the EURODIAB IDDM Complications Study, *Eur J Clin Nutr*, 1997 Feb;51(2):74-80.

Tucker, K., Hannan, M. & Kiel, D. 2001. The acid-base hypothesis: diet and bone in the Framingham Osteoporosis Study. *European Journal of Nutrition* 40, 231–237.

[http://www.avoin.helsinki.fi/materiaalit/ravitsemustiede/04\\_kivennais\\_kalsium.shtml](http://www.avoin.helsinki.fi/materiaalit/ravitsemustiede/04_kivennais_kalsium.shtml)

**LIITE 1**

Ruokapäiväkirja PRAL &lt; 0

|                     |  | <b>suositus</b> | <b>syöty/juotu määrä</b> |
|---------------------|--|-----------------|--------------------------|
| <b>aamupala:</b>    | perunapiirakka (-3,49)   | 1-2 kpl         |                          |
|                     | margariini 40 % (-0,44)  |                 |                          |
|                     | kurkku (-4,23)   | viipaleita      |                          |
|                     | appelsiinitäysmehu (-3,62)   | 2-3 dl          |                          |
|                     | banaani (-7,01)  | 1 kpl           |                          |
|                     | porkkana (-7,16)   | 1 kpl           |                          |
|                     | rusinoita (-10,43)   | 1 dl            |                          |
| <b>välipala:</b>    | banaani (-7,01)  | 1 kpl           |                          |
|                     | mandariini/appelsiini (-3,13)  | 1 kpl           |                          |
| <b>lounas:</b>      | porkkana-perunasosekeitto (n. -5)                                    | 3-5 dl          |                          |
|                     | perunapiirakka (-3,49)   | 1 kpl           |                          |
|                     | margariini 40 % (-0,44)  |                 |                          |
|                     | tomaatti (-5,09)   | viipaleita      |                          |
|                     | rasvaton maito (-0,82)   | 2-3 dl          |                          |
|                     | porkkana (-7,16)   | 1 kpl           |                          |
|                     | omena (-2,25)  | 1 kpl           |                          |
| <b>välipala:</b>    | banaani (-7,01)  | 1 kpl           |                          |
|                     | mandariini/appelsiini (-3,13)  | 1 kpl           |                          |
| <b>päivällinen:</b> | keitetty peruna (-7,08)  | 3-5 kpl         |                          |
|                     | kasvispyörykät (-3,66)   | 5-8 kpl         |                          |
|                     | tomaatti-kurkku-salaatti (n. -5)                                     | 2 dl            |                          |
|                     | perunapiirakka (-3,49)   | 1 kpl           |                          |
|                     | margariini 40 % (-0,44)  |                 |                          |
|                     | rasvaton maito (-0,82)   | 2-3 dl          |                          |
| <b>iltapala:</b>    | hedelmäsalaatti tai hedelmiä<br>(appelsiini, banaani, omena) (-3,04) | 2-3 dl          |                          |
|                     | rusinoita (-10,43)   | 1 dl            |                          |

