

**YHDISTETYN KESTÄVYYS- JA VOIMAHARJOITTELUN
VAIKUTUS RASVA-AINEENVAIHDUNTAAN LEVOSSA JA
KESTÄVYYSKUORMITUKSESSA KAHDELLA ERI RUO-
KAVALIOLLA**

Jere Ahonen

Liikuntafysiologia

Kandidaatin tutkielma

LFYA005

Kevät 2013

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän Yliopisto

Työn ohjaajat: Antti Mero

ja Enni-Maria Hietavala

TIIVISTELMÄ

Ahonen, Jere 2013. Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutus rasva-aineenvaihduntaan levossa ja kestävyyskuormituksessa kahdella eri ruokavaliolla. Liikuntafysiologian kandidaatin tutkielma. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, 56 s.

Johdanto. Yhdistetyllä kestävyys- ja voimaharjoittelulla on mahdollista lisätä erityisesti liikuntasuorituksen aikaista rasva-aineenvaihduntaa ja siten edistää terveyttä rasvan määrän ja veren lipidipitoisuuksien laskun myötä. Myös kasvispainotteisella, emäksisyyttä tuottavalla ravinnolla on todettu olevan veren rasva-arvoja sekä kehon rasvaprosenttia alentavia vaikutuksia. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka yhdistetty 12 viikon kestävyys- ja voimaharjoittelu sekä samanaikainen normaaliproteiinin ja kasviksia ja hedelmiä runsaasti sisältävä, elimistön emäksisyyttä lisäävä ruokavalio vaikuttavat rasva-aineenvaihduntaan sekä veren lipidipitoisuuksiin levossa ja submaksimaalisessa kestävyysuorituksessa.

Menetelmät. Tutkimukseen osallistui yhteensä 49 kuntoliikuntaa harrastavaa naista ja miestä, jotka jaettiin kahteen ruokavalioryhmään (EMÄS / HAPAN). EMÄS -ryhmän ruokavalio oli arvioitu PRAL (potential renal acid load = potentiaalinen munuaisten happokuorma) -menetelmän avulla elimistön emäksisyyttä lisääväksi, kun taas HAPAN -ryhmä noudatti lähes normaalia ruokavaliota, jossa kuitenkin muun muassa kasvisten saantia oli rajoitettu. Kahdentoista viikon tutkimusjakson ajan koehenkilöt suorittivat 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 voimao-sio. Koehenkilöiden veren rasvahappo-, triglyseridi-, kokonaiskolesteroli-, HDL (high density lipoprotein)- ja LDL (low density lipoprotein) -pitoisuuksia mitattiin ennen tutkimusjaksoa sekä sen jälkeen paastossa, levossa sekä submaksimaalisessa polkupyörä-ergometritestissä. Jälkimmäisessä kerättiin myös hengityskaasuja hengitysosamäärän (RQ = respiratory quotient = CO₂/O₂) laskemiseksi. Lisäksi koehenkilöiltä määritettiin veren ja virtsan pH, sekä tehtiin antropometrisia mittauksia ja maksimaalinen hapenotokyyvyn testi harjoittelujakson sykerajoja varten.

Tulokset.

Ravinto. EMÄS -ryhmän miesten kasvisten ja hedelmien saanti oli tilastollisesti merkitsevästi HAPAN -ryhmän miehiä suurempi tutkimusjakson puolivälissä (898 ± 302 g vs. 247 ± 243 g, p < 0,001) sekä sen lopussa (803 ± 380 g vs. 226 ± 96 g, p < 0,01). Naisilla samansuuntainen ryhmien välinen pieni ero havaittiin jo ennen tutkimusjaksoa (396 ± 203 g vs. 249 ± 75 g, p < 0,05) ja suuri ero tutkimusjakson puolivälissä (927 ± 307 g vs. 209 ± 159 g, p < 0,001) sekä sen lopussa (1066 ± 634 g vs. 264 ± 273 g, p < 0,001). Miesten EMÄS -ryhmällä kehonpainoon suhteutettu rasvojen (0,8 ± 0,3 g/kg vs. 1,2 ± 0,4 g/kg, p < 0,05) ja proteiinien (1,0 ± 0,3 g/kg vs. 1,4 ± 0,5 g/kg, p < 0,05) saanti oli tutkimusjakson puolivälissä pienempää kuin vastaavasti HAPAN -ryhmän miehillä.

Veren ja virtsan pH. Veren pH:ssa ei havaittu muutoksia tutkimusjakson aikana, mutta virtsan pH oli EMÄS -ryhmän naisilla 15,9 % HAPAN -ryhmän naisia korkeampi tutkimusjakson puolivälissä (6,42 ± 0,82 vs. 5,54 ± 0,80, p = 0,009) ja 14,2 % korkeampi tutkimusjakson lopussa (6,35 ± 0,98 vs. 5,56 ± 0,72, p = 0,02).

RQ. Ennen tutkimusjaksoa RQ oli submaksimaalisessa suorituksessa HAPAN -ryhmän naisilla merkitsevästi EMÄS -ryhmän naisia korkeampi tehoilla 35 % (p = 0,046) ja 55 % VO_{2max} (p = 0,015) sekä koko HAPAN -ryhmällä (miehet ja naiset) EMÄS -ryhmää

korkeampi 75 % teholla VO_{2max}:sta (p = 0,035). RQ laski tutkimusjakson myötä 1,9 % HAPAN -ryhmän miehillä submaksimaalisessa suorituksessa 75 % teholla VO_{2max}:sta (p = 0,017) sekä 2,0 % ja 2,9 % koko HAPAN -ryhmällä tehoilla 55 % (p = 0,016) ja 75 % VO_{2max} (p = 0,007).

Veren triglyseridipitoisuus. EMÄS -ryhmän naisten veren triglyseridipitoisuus laski harjoittelujakson myötä levossa 13,1 % (1,30 ± 0,51 mmol/l vs. 1,13 ± 0,44 mmol/l, p = 0,016) ja 35 % teholla VO_{2max}:sta 15,0 % (1,20 ± 0,55 mmol/l vs. 1,02 ± 0,49 mmol/l, p = 0,038). HAPAN -ryhmän miehillä triglyseridipitoisuus nousi levossa 21,1 % (1,14 ± 0,36 mmol/l vs. 1,38 ± 0,44 mmol/l, p = 0,039) ja kaikilla kolmella suoritusteholla: 19,1 % (1,15 ± 0,37 mmol/l vs. 1,37 ± 0,44 mmol/l, p = 0,024), 16,4 % (1,22 ± 0,37 mmol/l vs. 1,42 ± 0,42 mmol/l, p = 0,027) ja 20,2 % (1,29 ± 0,44 mmol/l vs. 1,55 ± 0,47 mmol/l, p = 0,026). Koko HAPAN -ryhmällä triglyseridipitoisuus nousi levossa 13,9 % (p = 0,045). Triglyseridipitoisuus oli ennen tutkimusjaksoa EMÄS -ryhmän miehillä HAPAN -ryhmän miehiä korkeampi 75 % teholla VO_{2max}:sta (p = 0,031) ja koko EMÄS -ryhmällä HAPAN -ryhmää korkeampi levossa sekä kestävyys-suorituksessa kaikilla suoritustehoilla (p < 0,05).

Veren vapaiden rasvahappojen pitoisuus. Vapaiden rasvahappojen pitoisuus laski EMÄS -ryhmän naisilla levossa 48,6 % (0,37 ± 0,26 mmol/l vs. 0,19 ± 0,09 mmol/l, p = 0,02) ja kaikilla kolmella suoritusteholla: 52,1 % (0,48 ± 0,28 mmol/l vs. 0,23 ± 0,13 mmol/l, p = 0,001), 46,2 % (0,52 ± 0,32 mmol/l vs. 0,28 ± 0,10 mmol/l, p = 0,015) ja 32,7 % (0,55 ± 0,21 mmol/l vs. 0,37 ± 0,10 mmol/l, p = 0,024). Koko yhdistetyllä EMÄS -ryhmällä rasvahappopitoisuuden lasku oli levossa 33,3 % (p = 0,03) sekä eri suoritustehoilla 43,8 % (p = 0,002), 29,8 % (p = 0,048) ja 21,6 % (p = 0,049).

Veren HDL- LDL- ja kokonaiskolesterolipitoisuus. Veren kokonaiskolesteroli-, HDL- ja LDL -pitoisuuksissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja mittauspisteiden tai ryhmien välillä.

Rasvaprosentti. Koko EMÄS -ryhmän kehon rasvaprosentti laski 4,3 % (28,2 ± 7,8 % vs. 27,0 ± 8,1 %, p = 0,039). Vastaavasti HAPAN -ryhmän rasvaprosentissa ei havaittu muutoksia.

Pohdinta ja johtopäätökset. Tämän tutkimuksen perusteella kasvis- ja hedelmäpainotteen (noin 800 - 1000 g kasviksia ja hedelmiä vuorokaudessa) ja normaalin määrän proteiinia sisältävä EMÄS -ruokavalio ei vaikuta 12 viikon kestävyys- ja voimaharjoittelujakson aikana veren pH:hon, mutta nostaa naisilla virtsan pH:ta. Nämä tulokset vahvistavat näkemystä siitä, että veren tarkasti säädeltyä pH:ta on vaikea muuttaa, mutta virtsan pH:hon sen sijaan voidaan tunnetusti vaikuttaa. EMÄS -ruokavaliolla on kuitenkin mahdollista alentaa veren triglyseridipitoisuutta ja kehon rasvaprosenttia samanaikaisen yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun yhteydessä. EMÄS -ruokavalio myös alentaa veren rasvahappopitoisuuksia levossa ja submaksimaalisessa kestävyys-suorituksessa, mistä johtuen rasvojen oksidaation osuus energiantuotosta kestävyys-suorituksen aikana ei lisääntynyt yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun yhteydessä, toisin kuin HAPAN -ruokavaliolla tapahtuu. Näin ollen EMÄS -ruokavaliolla on mahdollista saada aikaan joitain terveyshyötyjä veren rasva-arvojen sekä rasvaprosentin muutosten kautta, mutta toisaalta ainakaan pitkäkestoisen kestävyys-suorituksen kannalta rasva-aineenvaihdunnan lasku ei välttämättä ole hyväksi.

Avainsanat: rasva-aineenvaihdunta, happoemästasapaino, ruokavalio, pH.

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
1 JOHDANTO.....	5
2 KIRJALLISUUSKATSAUS.....	7
2.1 Elimistön rasvavarastot	7
2.2 Rasva-aineenvaihdunta.....	8
2.3 Liikunta ja rasva-aineenvaihdunta.....	10
2.3.1 Rasva-aineenvaihdunta fyysisessä kuormituksessa	10
2.3.2 Fyysisen harjoittelun vaikutukset rasva-aineenvaihduntaan.....	13
2.3.3 Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutukset rasva- aineenvaihduntaan	15
2.4 Haptoemästäsapaino	16
2.4.1 Elimistön puskurointimekanismit	16
2.4.2 Ravinnon vaikutus haptoemästäsapainoon ja fyysiseen kuormitukseen..	17
2.4.3 Emästä tuottavan ruokavalion vaikutus rasva-aineenvaihduntaan.....	19
3 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT	20
4 TUTKIMUSMENETELMÄT	23
4.1 Koehenkilöt	23
4.2 Koeasetelma	23
4.3 Aineiston keräys ja analysointi	27
4.4 Tilastolliset menetelmät	32
5 TULOKSET	33
5.1 Ravinto	33
5.2 Rasva-aineenvaihdunta.....	35
5.3 Haptoemästäsapaino	43
6 POHDINTA.....	45
7 LÄHTEET	53

1 JOHDANTO

Rasvat eli lipidit ovat hiilihydraattien ohella tärkein ihmiskehon energiaravintoaine ja vähän vettä sitovana rasva on hyvin tehokas ja tilaa säästävä tapa varastoida energiaa. Rasvakudos onkin elimistön suurin yksittäinen energiavarasto. Noin 90 % elimistön rasvavarastoista on triglyseridien muodossa rasvakudoksen rasvasoluissa. Triglyseridien hajotuksessa eli lipolyysissä triglyseridin glyserolista irrotetaan siihen sitoutuneet kolme rasvahappoa, jotka sitten kuljetetaan verenkierron mukana esimerkiksi lihassoluihin energiantuottoon. Soluissa rasvahapot hajotetaan ensin mitokondriossa β -oksidatiossa kahden hiiliatomin mittaisiksi asetyylikoentsyymi-A -molekyyleiksi, jotka sitten siirtyvät sitruunahappokiertoon tuottamaan ATP:ta. (Maughan & Gleeson 2004, 125 – 131.)

Liikuntasuorituksen aikana energia-aineenvaihdunta lisääntyy ja siten myös rasvojen aineenvaihdunnan on nouseva lepotasosta. Tärkeimpiä rasva-aineenvaihdunnan tasoa sääteleviä tekijöitä liikuntasuorituksen aikana ovat suorituksen kesto sekä intensiteetti, mutta myös muun muassa fyysisen kunnon tasolla ja ruokavaliolla on vaikutuksia rasvojen oksidatioon (McArdle ym. 2010, 28). Erityisesti kestävyystyypillisellä harjoittelulla on todettu olevan rasva-aineenvaihduntaa lisäävä vaikutus (Friedlander ym. 1998; Sial ym. 1998; Talanian ym. 2007; Tunstall ym. 2002), minkä lisäksi kestävyysurheilijoilla rasvojen oksidation taso säilyy korkeana harjoittelemattomia kovemmilla intensiteeteillä (Achten ym. 2002; Coggan ym. 2000; Stisen ym. 2006). Yhdistetyssä kestävyys- ja voimaharjoituksessa rasva-aineenvaihdunnan on todettu nousevan jopa pelkkää kestävyysharjoitusta suuremmaksi (Goto ym. 2007b). Toisaalta yhdistetyllä kestävyys- ja voimaharjoittelulla voidaan pidemmällä aikavälillä kohentaa terveyttä elimistön rasvamäärän vähentyessä sekä veren triglyseridi- ja kolesterolipitoisuuksien laskiessa (Park ym. 2003).

Elimistön happoemästäsapainon säätely on muun muassa aineenvaihdunnan reaktioiden kannalta erittäin tärkeää. Siksi elimistössä onkin käytössä sekä kemiallisia että fysiologisia puskureita, joilla pH pyritään pitämään muuttumattomana. Veren pH on normaali-tilassa valtimoissa noin 7,35 ja laskimoissa noin 7,45 eli keskiarvona veren pH

on noin 7,40. Myös elimistön useimpien muiden nesteiden pH on hyvin lähellä veren pH:ta. (McArdle ym. 2010, 300 – 301.) Ruokavaliolla voidaan vaikuttaa elimistön happoemästäsapainoon siten, että kasvis- ja hedelmäpainotteinen ruokavalio näyttää muuttavan elimistöä emäksisemmäksi, kun taas runsaasti proteiinia, vehnää ja rasvaa sisältävä ravinto aiheuttaa elimistön happamoitumista (Greenhaff ym. 1987a; 1987b; 1988a; 1988b; Reddy ym. 2002; Remer & Manz 1994). Ruoka-aineista erityisesti viljatuotteet sekä liha ja kala happamoittavat elimistöä (Alexy ym. 2007). Runsaasti kasviksia ja hedelmiä sisältävä ruokavalio voi edistää terveyttä muun muassa veren lipidipitoisuuksia alentamalla. Terveystyödyt johtunevat ainakin osittain ruokavalion ravintoainekoostumuksesta, mutta myös elimistön emäksisyydellä on todettu olevan osuutta rasva-arvojen parantumiseen. (Greenhaff ym. 1988a; 1988b; Melby ym. 1994.)

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, kuinka 12 viikon normaaliproteiininen sekä kasviksia ja hedelmiä runsaasti sisältävä, elimistön emäksisyyttä lisäävä ruokavalio yhdessä yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun kanssa vaikuttaa rasva-aineenvaihduntaan sekä veren lipidipitoisuuksiin levossa ja submaksimaalisessa kestävyysuorituksessa.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Elimistön rasvavarastot

Ihmisen elimistön rasvavarastot ovat hyvin suuret verrattuna esimerkiksi hiilihydraatti-varastoihin. Tämä johtuu muun muassa siitä, että rasvan varastointi vaatii huomattavasti vähemmän vettä kuin hiilihydraattien varastointi. Näin ollen rasva on ainoa energiara-vintoaine, jota voidaan käyttää hyvin suurien energiamäärien varastoimiseen. Normaali-painoisilla naisilla kehon massasta noin 25 – 30 % onkin rasvaa ja miehillä vastaavasti rasvan osuus on noin 15 – 20 % kehon massasta. Urheilijoilla rasvan osuus on tietysti pienempi ja kestävyysurheilijamiehillä rasvaa saattaa pienimmillään olla vain 3 – 5 % kehon massasta. (Maughan & Gleeson 2004, 125.)

Selvästi suurin osa – jopa noin 90 % – elimistön rasvoista on varastoituneena rasvaku-doksen rasvasoluihin triglyserideinä, jotka koostuvat glyserolimolekyulistä sekä kol-mesta siihen kiinnittyneestä rasvahappomolekyulistä. Rasvahappomolekyyli taas muo-dostuu yleensä 14 – 22 hiiliatomin mittaisesta hiilivetyketjusta, jonka toisessa päässä on karboksyyli-ryhmä (-COOH). Pieniä määriä triglyseridejä varastoidaan myös luuranko-lihaksiin. (Maughan & Gleeson 2004, 126 – 127.) Näiden lisäksi myös maksa on mer-kittävä elin rasvojen varastoinnin kannalta. Maksalla on kolme tärkeää tehtävää rasvo-jen varastoinnissa ja rasva-aineenvaihdunnassa: 1) rasvahappojen hajottaminen erilai-siksi yhdisteiksi energiantuoton eri vaiheisiin, 2) triglyseridien syntetisointi pääasiassa hiilihydraateista sekä 3) erilaisten lipidien, kuten kolesterolin ja fosfolipidien synteti-sointi rasvahapoista. (Guyton & Hall 2000, 783.)

Rasvakudos on tehokas rasvavarasto, koska rasvasolujen tilavuudesta jopa 80 – 95 % voi olla rasvaa. Näin ollen koko kudoksen koostuu lähes pelkästään rasvasta. Rasvasolujen sisältämät triglyseridit ovat pääosin nestemäisiä, jotta niitä kyetään hydrolysoimaan tarvittaessa energiantuottoon. (Guyton & Hall 2000, 782.) Energian varastointi on kui-tenkin vain yksi rasvasolujen tehtävistä, sillä ne myös suojelevat elimistön tärkeitä eli-miä ja toimivat lämmöneristeenä. Rasvoja tarvitaan myös erilaisiin kalvorakenteisiin sekä hermosolujen myeliinituppeihin. (Maughan & Gleeson 2004, 125.)

Kolesteroli on tärkeä solukalvojen rakenneosana, joskin se toimii myös muun muassa useiden hormonien esiasteena. Kolesteroli luokitellaan yleensä lipidiksi sen lipidienkaltaisten fyysisten ja kemiallisten ominaisuuksien johdosta, vaikka se ei sisällä rasvahappoja. Kolesterolia kuljetetaan verenkierrassa maksan syntetisoimien lipoproteiinien mukana, jotka vastaavat myös muiden lipidien kuljetuksesta verenkierrossa. Lipoproteiineista LDL (low density lipoprotein) ja HDL (high density lipoprotein) vastaavat pääosin kolesterolin kuljetuksesta. LDL kuljettaa kolesterolia valtimoiden seinämiin, joihin se myös helposti kiinnittyy haitallisin seurauksin. HDL puolestaan poistaa kolesterolia valtimoiden seinämistä ja kuljettaa sitä maksaan sappinesteen raaka-aineeksi. Näin ollen LDL tunnetaan puhekielessä ”pahana kolesterolina” ja HDL vastaavasti ”hyvänä kolesterolina”. (McArdle ym. 2010, 24 – 25.)

Lihasten rasvavarastojen on todettu olevan kestävyysurheilijoilla suuremmat kuin ylipainoisilla henkilöillä tai tyypin 2 diabeetikoilla. Erityisesti tyypin 1 lihassoluissa kestävyysurheilijoilla voi olla lähes kolminkertainen määrä rasvaa verrattuna muihin edellä mainittuihin ryhmiin. Kestävyysurheilijoiden normaalia suurempi tyypin 1 lihassolujen osuus vielä korostaa rasvavarastojen suuruutta. Lihasten sisältämän rasvan määrä ei siis välttämättä riipu koko kehon rasvamäärästä. (Van Loon ym. 2003.)

2.2 Rasva-aineenvaihdunta

Suosittelava rasvojen osuus ruokavaliosta on noin 20 – 35 % päivittäisestä energiansaannista. Esimerkiksi Yhdysvalloissa keskimääräinen rasvan saanti on kuitenkin huomattavasti suurempi; noin 36 % energiansaannista. (McArdle ym. 2010, 26.) Ravinnon mukana saaduista rasvoista suurin osa on triglyseridejä, joiden lisäksi saadaan myös pienempiä määriä fosfolipidejä, kolesterolia sekä kolesteroliestereitä. Ravinnosta tulevat rasvat sulatetaan pääosin ohutsuolessa, vaikka sylkeen erittyvä linguaalinen lipaasi sulattaakin pienen määrän rasvoja jo mahalaukussa. Ohutsuoleen saapuvat rasvapisarot emulgoidaan aluksi pienemmiksi sappinesteen avulla, jotta muut entsyymit, kuten haiman lipaasi, pystyvät sulattamaan niitä. (Guyton & Hall 2000, 756 – 757.)

Triglyseridit pilkotaan ohutsuolessa pääasiassa vapaiksi rasvahapoiksi ja glyseroliksi, jotka säilötään pieniksi, pisaramaisiksi miselleiksi sappisuolojen avulla, koska trig-

lyseridien hydrolyysi on erittäin palautuva reaktio. Misellien avulla glyseroli ja rasvahapot saadaan myös kuljetettua suolen epiteelin läpi imunesteeseen, johon suurin osa rasvoista imeytyy ruuansulatuskanavasta. Ohutsuolen epiteelin läpi kulkeutuessaan glyseroli ja rasvahapot resyntetisoidaan takaisin triglyserideiksi ja imunesteeseen ne vapautuvat pieninä pisaroina, joita kutsutaan kylomikroneiksi. Kylomikroneina triglyseridit myös kulkeutuvat verenkiertoon, josta ne poistuvat pääosin rasvakudokseen sekä maksaan kapillaarien kautta. (Guyton & Hall 2000, 757 – 758, 781.)

Lipolyysi eli triglyseridin hajoitus rasvahapoiksi ja glyseroliksi on ensimmäinen vaihe, rasvojen energia-aineenvaihdunnassa. Lipolyysissä rasvasolun triglyserideistä hydrolysoidaan ensin yksi rasvahappo hormonisensitiivisen lipaasin avulla. Tämän jälkeen myös kaksi muuta rasvahappoa hydrolysoidaan omien entsyymien avustamana. Vapaat rasvahapot ja glyseroli vapautuvat tämän jälkeen verenkiertoon. Lipolyysin teho sekä rasvakudoksen verenvirtaus kontrolloivat verenkiertoon vapautuvien rasvahappojen ja glyserolin määrää. (Maughan & Gleeson 2004, 127.)

Rasvasoluista verenkiertoon vapautuva glyseroli kulkeutuu pääasiassa maksaan, jossa se voidaan hapettamisen jälkeen käyttää glykolyysiin tai glukoneogeneesiin tarpeesta riippuen. Samoin glyserolia voidaan käyttää maksassa uusien triglyseridien syntetisointiin. Vapaat rasvahapot taas kulkeutuvat verenkierron mukana kohdesoluihin, kuten lihassoluihin, joissa niitä käytetään energiantuottoon. Koska rasvahapot liukenevat huonosti veteen, ne ovat plasmassa löyhästi sitoutuneena albumiiniin. (Maughan & Gleeson 2004, 128.)

Lihassolut ottavat rasvahappoja sisäänsä sitä enemmän, mitä suurempi on veren rasvahappopitoisuus, joten lipolyysi on hyvin tärkeässä roolissa rasvojen energia-aineenvaihdunnan kannalta. Myös solun sisä- ja ulkopuolen rasvahappopitoisuuksien ero vaikuttaa sisäänottoon, joten solun sisäistä rasvahappopitoisuutta säädellään rasvahappoja sitovan proteiinin (FABP) avulla. Rasvahapot eivät pysty läpäisemään lihassolukalvoa yksinään, vaan ne pääsevät solun sisään avustetulla diffuusiolla käyttäen rasvahapotransportteria (FAT/CD36). (Maughan & Gleeson 2004, 128.)

Solulimassa rasvahappomolekyyleihin liitetään koentsyymi A -molekyyli (CoA), minkä jälkeen ne kuljetetaan mitokondrioon β -oksideaatiota, eli asetyyli-CoA:ksi hapettamista,

varten. Mitokondrion kalvojen läpäisyä varten rasvahappo-CoA –molekyylistä muodostetaan karnitiinin avulla rasvahapon esteri, joka kuljetetaan mitokondrion ulko- ja sisäkalvon läpi karnitiini asyyli transferaasientsyymien (CAT1 ja CAT2) avulla. Mitokondrion matriksissa rasvahappo-CoA -molekyylit osallistuu β -oksidointiin, jonka yhdessä syklistä siitä irrotetaan aina kaksi hiiliatomia asetyyli-CoA:n muodostukseen. Sykli toistuu niin kauan kuin rasvahapossa on hiiliatomipareja jäljellä. β -oksidointiossa tuotettu asetyyli-CoA käytetään energiantuottoon muodostamalla siitä ATP:ta sitruunahappokierrossa ja oksidatiivisessa fosforylaatioissa. (Maughan & Gleeson 2004, 128 – 131.)

Rasvojen käyttöä energiantuottoon säätelee pääasiassa hiilihydraatin määrä sekä useat eri hormonit. Kun hiilihydraatteja on runsaasti saatavilla, ne ovat ensisijainen energianlähde. Rasvoista siis muodostetaan energiaa runsaasti silloin, kun hiilihydraattivarastot ovat vähäiset. Hormoneista adrenaliini, noradrenaliini, kortikotropiini sekä glukokortikoidit lisäävät lipolyysiä sekä rasvojen käyttöä energiantuottoon. Myös kasvuhormonilla on samanlaisia vaikutuksia, mutta ne ovat heikompia. Lisäksi kilpirauhashormoni lisää nopeasti rasvojen vapautumista verenkiertoon. Vastakkainen vaikutus on insuliinilla, joka lisää rasvojen varastointia ja siten vähentää niiden käyttöä energiaksi. (Guyton & Hall 2000, 786 – 787.)

2.3 Liikunta ja rasva-aineenvaihdunta

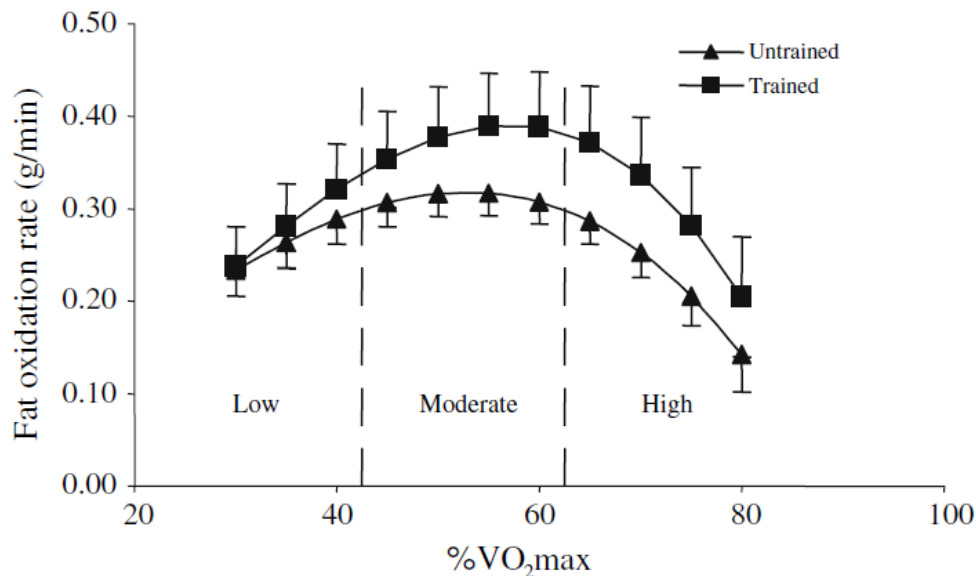
2.3.1 Rasva-aineenvaihdunta fyysisessä kuormituksessa

Rasvojen osuus energiantuotosta liikuntasuorituksen aikana vaihtelee noin 30 ja 80 % välillä. Suorituksen intensiteetin lisäksi myös ruokavalio, fyysinen kunto sekä suorituksen kesto vaikuttavat rasva-aineenvaihdunnan määrään liikuntasuorituksessa. (McArdle ym. 2010, 28.) Magkosin ym. (2006) mukaan submaksimaalisessa kestävyysuorituksessa rasvahappojen vapautuminen lisääntyy noin 65 % ja niiden oksidointi noin 40 % lepotasoon nähden.

Kun liikuntasuorituksen teho nousee noin 50 % tasolle maksimaalisesta hapenottokestävyydestä (VO_{2max}), alkaa rasvakudoksen verenkierto lisääntyä normaalitasosta, jolloin rasvahappojen vapautuminen verenkiertoon ja siten lihasten energiantuottoon lisääntyy.

Toisaalta hyvin kovatehoisen liikuntasuorituksen aikana rasvojen vapautuminen rasvakudoksesta vähenee, johtuen sympaattisen vasokonstriktion aiheuttamasta rasvakudoksen verenkierron alentumisesta. (Maughan & Gleeson 2004, 127 – 128.) Myös kovatehoisessa suorituksessa verenkiertoon kertyvä laktaatti inhiboi lipolyysiä rasvakudoksessa (Boyd ym. 1974).

Achtenin ym. (2002) mukaan rasvan oksidaatio oli pyöräilyn harrastajilla suurinta noin 65 % teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä. Samassa tutkimuksessa saatiin maksimaaliseksi rasvojen oksidaation arvoksi 0,6 g/min ja se säilyi 10 prosentin sisällä tästä arvosta, kun suorituksen teho oli 55 – 72 % maksimaalisesta hapenottokyvystä. Venablesin ym. (2005) tekemän tutkimuksen mukaan harjoittelemattomilla naisilla rasvojen oksidaatio saavuttaa maksimiarvonsa 52 % teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä ja miehillä vastaava intensiteetti on 45 % VO_2max . Rasvojen oksidaation maksimiarvo oli kummallakin sukupuolella noin 0,46 g/min, mutta suhteessa rasvattomaan kehonmassaan se oli naisilla merkitsevästi suurempi kuin miehillä.

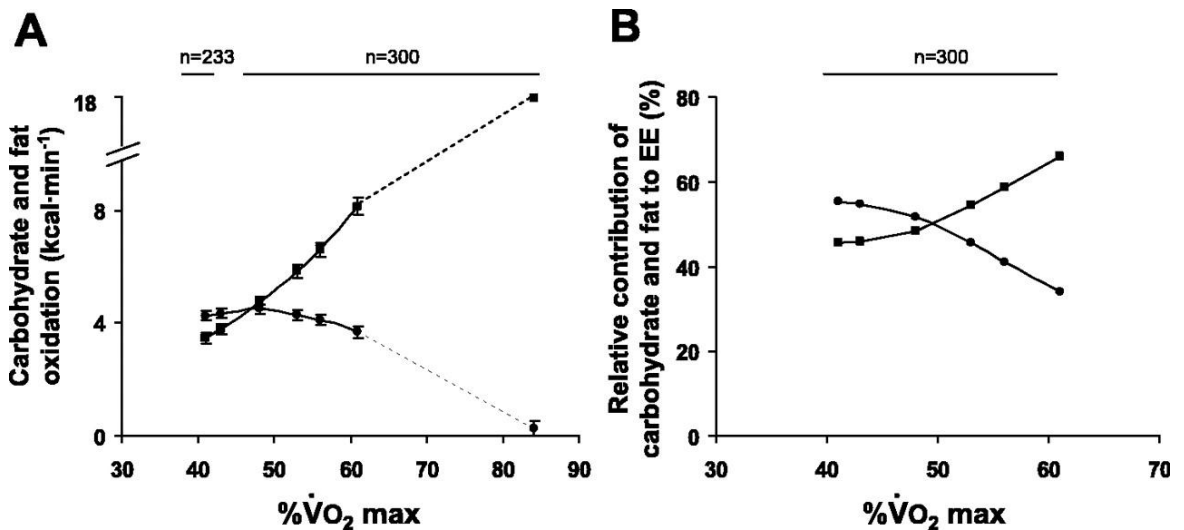


KUVA 1. Kestävyysurheilijoiden ja harjoittelemattomien henkilöiden rasvojen oksidaation taso eri intensiteeteillä suhteessa maksimaaliseen hapenottokykyyn (Stisen ym. 2006).

Stisenin ym. (2006) tulosten mukaan ero kestävyysurheilijoiden ja harjoittelemattomien välillä on pienempi kuin edellä mainittujen tutkimusten perusteella voisi päätellä. Kestävyysurheilijanaisten maksimaalinen rasvojen oksidaatio oli tässä tutkimuksessa 0,4

g/min ja tätä vastaava teho oli 56 % maksimaalisesta hapenottokyvystä. Harjoittelemattomilla naisilla vastaavat arvot olivat 0,32 g/min ja 53 % $\dot{V}O_2\text{max}$, mutta erot ryhmien välillä eivät olleet merkitseviä kummankaan muuttujan osalta. Joka tapauksessa suurin osa tutkimustuloksista viittaa siihen, että kestävyysurheilijat saavuttavat maksimaalisen rasvojen oksidaation hieman korkeammalla intensiteetillä kuin harjoittelemattomat henkilöt, minkä lisäksi myös rasvojen oksidaation maksimaalinen määrä on kestävyysurheilijoilla jonkin verran suurempi, kuten kuvasta 1 voi huomata.

Rasvojen oksidaatio on pääasiallinen energianlähde, kun suorituksen intensiteetti on rasvojen oksidaation maksimitasoa matalampi. Suorituksen tehon noustessa tämän tason yläpuolelle, vaihtuvat hiilihydraatit pääasialliseksi energianlähteeksi ja rasvojen oksidaatio vähenee. (Venables ym. 2005.) Tämä näkyy selkeästi kuvassa 2. Myös veren vapaiden rasvahappojen pitoisuus sekä niiden vapautuminen rasvakudoksesta ja sisäänotto lihaksiin ovat korkeaintensiteettisissä suorituksissa matalampia kuin matalilla intensiteeteillä liikuttaessa (Romijn ym. 2000).



KUVA 2. Rasvojen (●) ja hiilihydraattien (■) oksidaation absoluuttinen (A) ja suhteellinen (B) osuus energiantuotosta eri intensiteeteillä (Venables ym. 2005).

Cogganin ym. (2000) mukaan kestävyysurheilijoilla rasvojen oksidaatio on korkeaintensiteettisessä (75 – 80 % $\dot{V}O_2\text{max}$) kestävyysuorituksessa korkeampaa kuin harjoittelemattomilla henkilöillä. Myös Stisenin ym. (2006) tutkimuksessa saatiin samansuuntaisia tuloksia kestävyysurheilijoiden rasvojen oksidaation ollessa kovatehoisessa suorituksessa (65 – 80 % $\dot{V}O_2\text{max}$) noin 35 % korkeampaa kuin harjoittelemattomien henki-

löiden. Venablesin ym. (2005) saamien tulosten mukaan harjoittelemattomilla henkilöillä rasvojen oksidaatio laskee merkityksettömäksi, kun kestävyysuorituksen intensiteetti nousee 84 % tasolle maksimaalisesta hapenottokyvystä. Kestävyysurheilijoilla rasvojen osuus energiantuotossa säilyy suurempana hieman kovemmillakin intensiteeteillä ja merkityksettömäksi se laskee noin 89 % teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä (Achten ym. 2002).

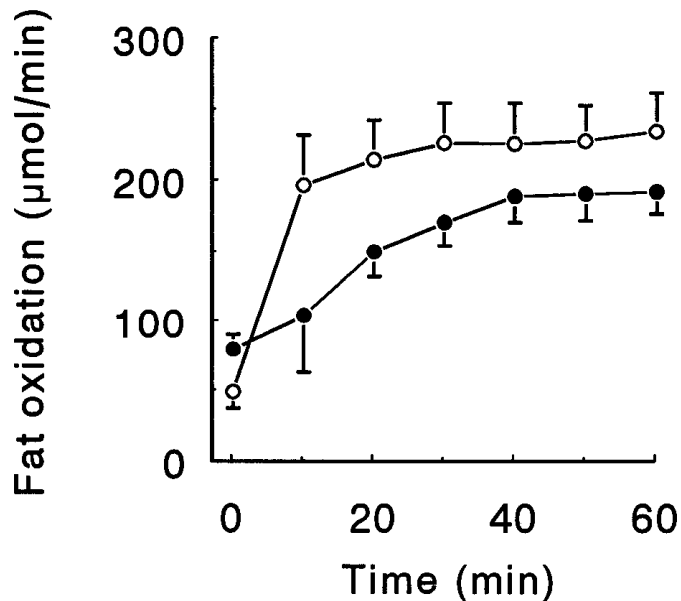
Useiden rasva-aineenvaihdunnan entsyymien, kuten sitraattisyntaasin, β -hydroksiasyyli-CoA dehydrogenaasin sekä hormonisensitiivisen lipaasin aktiivisuudet ovat Stisenin ym. (2006) tutkimuksen mukaan kestävyysuorituksessa korkeampia kestävyysurheilijoilla kuin harjoittelemattomilla henkilöillä. He totesivatkin näiden entsyymimuutosten ainakin osittain mahdollistavan rasvojen suuremman oksidaation. Kovatehoisissa suorituksissa kestävyysurheilijoiden suurempaan rasvojen oksidaatioon näyttää vaikuttavan myös lihasten triglyseridivarastojen tehokas käyttö (Coggan ym. 2000; Romijn ym. 2000).

2.3.2 Fyysisen harjoittelun vaikutukset rasva-aineenvaihduntaan

Päivittäinen kestävyysurjoittelu näyttää lisäävän rasvojen oksidaatiota fyysisessä kuormituksessa jo yhdeksän päivän jälkeen jopa 24 %, mikä ainakin osittain johtuu rasvahappojen kuljetukseen ja β -oksideatioon liittyvien geenien ekspresion lisääntymisestä (Tunstall ym. 2002). Myös joka toinen päivä suoritettavat kovatehoiset aerobiset intervalliharjoitukset nostivat Talanianin ym. (2007) tutkimuksessa rasvojen oksidaatiota kestävyysuorituksessa 36 % kahden viikon aikana. Kyseisessä tutkimuksessa havaittiin lisäksi rasvahappoja kuljettavien lihaksen kalvoproteiinien määrän, sekä mitokondrioiden maksimaalisten entsyymiaktiivisuuksien nousua harjoittelujakson myötä, mikä osaltaan saattoi vaikuttaa rasvan oksidaation lisääntymiseen.

Pidempikestoisella 12 viikon kestävyysurjoittelulla saatiin Friedlanderin ym. (1998) tutkimuksessa aikaan 58 % nousu rasvahappojen oksidaatiossa fyysisessä kuormituksessa nuorilla naisilla, minkä lisäksi myös rasvahappojen vapautumisessa verenkiertoon ja niiden sisäännotossa lihaksiin saatiin aikaan merkitsevä nousu. Iäkkäämmillä naisilla, joilla rasva-aineenvaihdunta on usein jo hieman heikentynyt, on saatu samansuuntaisia

tuloksia yhtä pitkällä harjoitusohjelmalla (Johnson ym. 2010). Sialin ym. (1998) tutkimuksessa iäkkäillä naisilla ja miehillä rasvojen oksidaatio fyysisessä kuormituksessa nousi 16 viikon kestävyysharjoittelun myötä noin 33 %, mutta lipolyysissä ei huomattu eroa, joten harjoittelun todettiin aiheuttaneen muutoksia lihasten rasva-aineenvaihdunnassa. Kuvassa 3 on esitetty rasvojen oksidaatio fyysisen kuormituksen aikana kyseisessä tutkimuksessa.



KUVA 3. Rasvojen oksidaatio fyysisessä kuormituksessa ennen kestävyysharjoittelua (●) sekä 16 viikon harjoittelun jälkeen (○) iäkkäillä naisilla ja miehillä (mukaeltu Sial ym. 1998).

Hieman ristiriitaisia tuloksia saivat Friedlander ym. (1999), jotka totesivat 10 viikon kestävyysharjoittelun lisäävän rasvahappojen vapautumista verenkiertoon sekä niiden sisäänottoa lihaksiin, mutta eivät havainneet muutoksia rasvojen oksidaatiossa fyysisessä kuormituksessa. Tästä huolimatta näyttää kuitenkin selvältä, että erityisesti kestävyysharjoittelulla on mahdollista lisätä selkeästi rasvojen oksidaatiota fyysisessä kuormituksessa.

Van Aggel-Leijssen ym. (2002) tutkivat harjoittelun intensiteetin vaikutuksia rasva-aineenvaihduntaan fyysisen kuormituksen aikana lihavilla miehillä. He totesivat, että matalaintensiteettinen (40 % VO_2max) harjoittelu lisäsi rasvojen oksidaatiota fyysisessä kuormituksessa noin 40 %, kun taas korkeaintensiteettinen (70 % VO_2max) harjoittelu

ei nostanut rasvojen oksidaatiota lainkaan. Rasvojen oksidaation lepotasoon ei kummallakaan harjoitusohjelmalla saatu aikaan muutoksia.

Useissa tutkimuksissa on kuitenkin saatu erilaisilla harjoitusohjelmilla aikaan muutoksia rasva-aineenvaihdunnassa myös lepotilassa (Calles-Escandón ym. 1996; Poehlman ym. 1994; Romijn ym. 1993). Calles-Escandón ym. (1996) havaitsivat jo kymmenen päivän fyysisen harjoittelun lisäävän rasvojen kokonaisoksideatiota levossa hieman yli 20 mg/min riippumatta energiansaannista. 8 viikon kestävyysharjoittelulla taas saatiin Poehlmanin ym. (1994) tutkimuksessa aikaan 22 % nousu rasvojen oksidaatiossa levossa. Kestävyysurheilijoilla koko kehon rasvojen oksidaation sekä lipolyysin on todettu olevan levossa jopa 2 – 3-kertaisia verrattuna harjoittelemattomiin henkilöihin, mikä viittaisi harjoittelun jatkuvuuden aiheuttamaan suotuisaan vaikutukseen rasva-aineenvaihdunnassa (Romijn ym. 1993).

2.3.3 Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutukset rasva-aineenvaihduntaan

Yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutuksia rasva-aineenvaihduntaan on tutkittu melko vähän, mutta joitain suuntaa antavia tuloksia on saatu. Kun samassa harjoituksessa tehdään sekä voima- että kestävyysosio lyhyehkön palautuksen välein, nousevat veren rasvahappo- ja glyserolipitoisuus, kuten myös rasvojen oksidaatio suuremmiksi kuin pelkässä kestävyysharjoituksessa. Tämä johtuu suurelta osin voimaharjoituksen aiheuttamista muutoksista lipolyysiin vaikuttavien hormonien pitoisuuksissa, sekä lisääntyneestä rasvojen oksidaatiosta, jolloin kestävyysharjoituksen alussa rasva-aineenvaihdunta on selvästi suurempaa kuin lepotilanteessa. (Goto ym. 2007b.) Näin ollen voisi päätellä, että yhdistetyllä kestävyys- ja voimaharjoittelulla saadaan aikaan suurempia muutoksia rasva-aineenvaihdunnassa kuin jommallakummalla yksistään.

Yhdistettyä kestävyys- ja voimaharjoittelua voidaan toteuttaa myös suorittamalla harjoitukset eri päivinä, kuten Parkin ym. (2003) tutkimuksessa, jossa puolen vuoden yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu vähensi sekä ihonalaisen että viskeraalisen, eli sisäelinten ympärillä olevan, rasvan määrää lihavilla naisilla enemmän kuin pelkkä kestävyysharjoittelu. Lisäksi veren kokonaiskolesteroli- ja triglyseridipitoisuudet laskivat

harjoittelun myötä (Park ym. 2003). Myös sepelvaltimotautia sairastavilla miehillä on havaittu yhdistetystä kestävyys- ja voimaharjoittelusta olevan hyötyä veren rasva-arvojen suhteen, sillä Tokmakidiksen ja Volakliksen (2003) saamien tulosten mukaan kahdeksan kuukauden yhdistetty harjoittelu alensi veren kokonaiskolesterolia 9,4 % ja triglyseridipitoisuutta 18,6 %.

2.4 Haptoemästasapaino

2.4.1 Elimistön puskurointimekanismit

Hapoksi kutsutaan ainetta, joka liuoksessa luovuttaa vetyioneja (H^+) ja vastaavasti emäs vastaanottaa niitä. Happamuutta ja emäksisyyttä, eli liuoksen vetyionipitoisuutta voidaan mitata logaritmisella pH-asteikolla, jossa 7,0 on neutraalin liuoksen arvo ja sitä korkeammat arvot ovat emäksisiä, kun taas matalammat ovat happamia. Koska pH-asteikko on logaritminen, tarkoittaa yhden yksikön muutos liuoksen pH:ssa kymmenkertaista muutosta sen vetyionipitoisuudessa. Useimpien elimistön nesteiden pH on lähellä veren pH:ta, joka on valtimoissa noin 7,35 ja laskimoissa noin 7,45. Virtsan pH taas voi vaihdella noin 5,0:n ja 8,0:n välillä. (McArdle ym. 2010, 300.)

Puskuroinnilla tarkoitetaan fysiologisia tai kemiallisia reaktioita, jotka minimoivat vetyionipitoisuuden muutoksia. Elimistön pH:ta säädellään hyvin tarkasti, sillä sen muutokset vaikuttavat herkästi useisiin aineenvaihdunnan reaktioihin. Siksi elimistössä onkin käytössä sekä kemiallisia että fysiologisia puskureita. Kemialliset puskurit koostuvat heikosta haposta ja sen suolasta, ja niiden tehtävänä on pyrkiä säilyttämään elimistön pH muuttumattomana. Bikarbonaatti-, fosfaatti- ja proteiinipuskurit ovat tärkeimpiä elimistön kemiallisia puskureita. (McArdle ym. 2010, 300 – 301.)

Elimistön fysiologisiin puskureihin kuuluvat keuhkot sekä munuaiset, jotka pyrkivät saamaan pH:n takaisin normaalitasolle, mikäli kemialliset puskurit eivät pysty sitä säilyttämään. Veren vetyionipitoisuuden nousu kiihdyttää hengitystä, jolloin verestä poistuu hiilidioksidia. Tämä lisää veren bikarbonaatti-ionien ja vetyionien yhdistymistä, jolloin veren vetyionipitoisuus laskee. Sama puskurointimekanismi toimii myös päinvastaisissa tilanteissa. Munuaiset taas vaikuttavat elimistön haptoemästasapainoon ve-

tyionien erityistä säätelemällä ja ovat siten tärkeä puskuri pitkällä aikavälillä. (McArdle ym. 2010, 301 – 302.)

2.4.2 Ravinnon vaikutus happoemästäsapainoon ja fyysiseen kuormitukseen

Ravinnolla voidaan vaikuttaa elimistön happoemästäsapainoon, mikä näkyy erityisesti virtsan happamuudessa. Kasvispainotteinen ruokavalio näyttäisi nostavan virtsan pH:ta, mikä kertoo emäksisyyden lisääntymisestä elimistössä. Vastaavasti vähän kasviksia ja hedelmiä sekä runsaasti proteiinia sisältävä ruokavalio madaltaa virtsan pH:ta eli lisää elimistön happamuutta. (Remer & Manz 1994.) Edellistä tukevia tuloksia saivat Reddy ym. (2002), jotka totesivat virtsan pH:n olevan kahden viikon vähähiilihydraattisen ja runsasproteiinisen ruokavalion jälkeen 5,56, kun se normaalitilanteessa oli 6,09. Greenhaffin ym. (1987a; 1987b; 1988a; 1988b) tutkimuksissa runsashiilihydraattinen ruokavalio aiheutti elimistön emäksisyyden kasvua, kun taas runsasproteiinisella ja -rasvaisella ruokavaliolla oli päinvastaisia vaikutuksia.

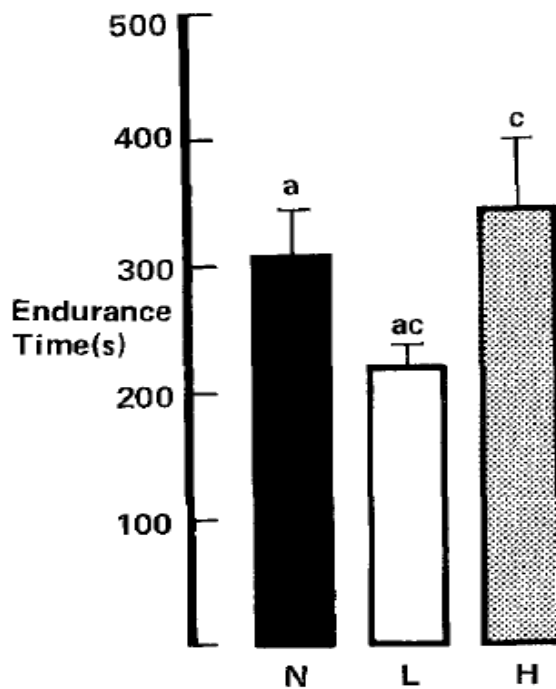
Kaikki proteiinit eivät kuitenkaan ole samalla tavalla sidoksissa elimistön happamoitumiseen, vaan yksittäisillä ruoka-aineilla ja niiden sisältämien yhdisteiden imeytymisellä ruuansulatuskanavassa on suuri merkitys happoemästäsapainon muutokseen (Remer 2001). Erityisesti hedelmillä, kasviksilla sekä perunalla on todettu olevan emäksisyyttä lisääviä vaikutuksia, kun taas vilja- ja maitotuotteet sekä liha ja kala lisäävät elimistön happamoitumista (Alexy ym. 2007).

Ruokavalion ja eri ruoka-aineiden vaikutusta elimistön happo-emästäsapainoon voidaan arvioida laskennallisen PRAL-arvon (potential renal acid load = potentiaalinen munuaisten happokuorma) avulla:

$$\text{PRAL (mEq/d)} = 0,49 \times \text{proteiini (g/d)} + 0,037 \times \text{fosfori (mg/d)} - 0,021 \times \text{kaliium (mg/d)} - 0,026 \times \text{magnesium (mg/d)} - 0,013 \times \text{kalsium (mg/d)} \text{ (Remer ym. 2003).}$$

Greenhaff ym. (1987a; 1987b; 1988a; 1988b) saivat useassa tutkimuksessa tuloksia, jotka viittaavat siihen, että elimistön happoemästäsapainolla on vaikutuksia kovatehoi-

seen kestävyysuorituksen. Runsashiilihydraattisella ruokavaliolla aikaansaatu veren pH:n, bikarbonaatti-ionipitoisuuden, hiilidioksidin osapaineen sekä emäsyylimäärän nousu lisää elimistön puskurointikapasiteettia ja siten mahdollistaa kovatehoisen (100 % VO₂max) kestävyysuorituksen jatkamisen normaalia pidempään, kuten kuvassa 4 on esitetty (Greenhaff ym. 1987a, Greenhaff ym. 1988b). Li hasten pH:n lepoarvoihin runsas- tai vähähiilihydraattinen ruokavalio ei näytä vaikuttavan, mutta kestävyysuorituksessa lihasten pH laskee jopa 104 % enemmän vähähiilihydraattisen ruokavalion jälkeen verrattuna korkeahiilihydraattiseen ruokavalioon. (Greenhaff ym. 1988a).



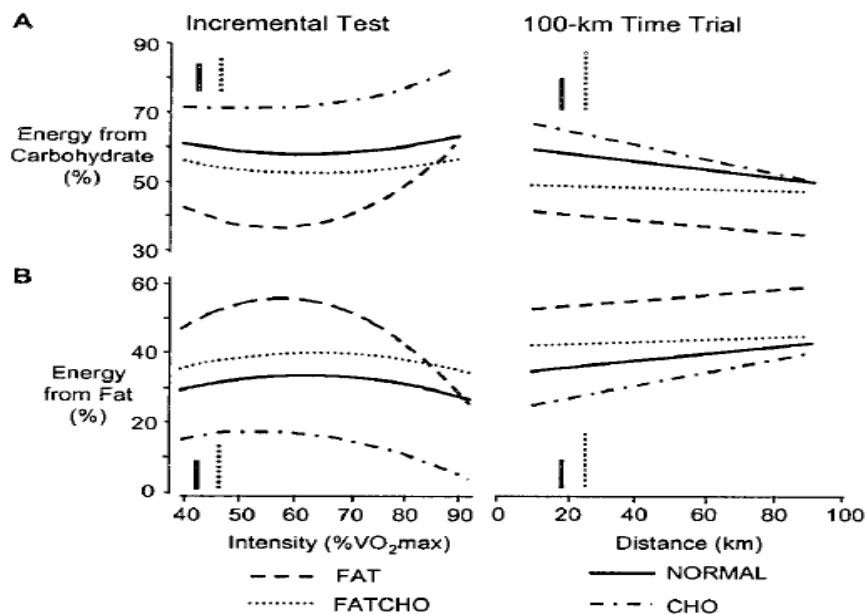
KUVA 4. Normaalin (N), vähä- (L) sekä runsashiilihydraattisen (H) ruokavalion jälkeisen kovatehoisen, uupumukseen asti suoritettun, kestävyysuorituksen kesto (Greenhaff ym. 1987a).

Ruokavalion hiilihydraattien määrän ja niiden aiheuttamien happoemästasapainon muutosten vaikutuksista fyysisen kuormituksen on myös olemassa ristiriitaisia tuloksia. Quirionin ym. (1988) tutkimuksessa hiilihydraattien määrällä ruokavaliossa ei huomattu olevan yhteyttä kestävyysuorituskykyyn eikä myöskään suorituksen aikaiseen maksimilaktaattiin. Myöskään runsaasti happamuutta tuottavista viljatuotteista (Alexy ym. 2007) yleisesti päivittäin käytettävän vehnän vaikutuksia kestävyysuorituskykyyn ei ole tutkittu.

2.4.3 Emästä tuottavan ruokavalioiden vaikutus rasva-aineenvaihduntaan

Kasvispainotteisella ruokavaliolla, jonka on todettu lisäävän elimistön emäksisyyttä, voidaan vaikuttaa myös veren rasva-arvoihin. Kasvisruokavaliota noudattavilla veren kokonaiskolesteroli- ja triglyseridipitoisuudet ovat matalammat kuin normaaliruokavaliota noudattavilla. Osittain tämä selittyy kasvisruokavalioiden sisältämien rasvojen vähyydestä normaaliruokavaliioon verrattuna, mutta myös elimistön happoemästasapainon muutoksilla voi olla vaikutusta asiaan. (Melby ym. 1994.)

Rowlandsin ja Hopkinsin (2002b) tutkimuksessa runsashiilihydraattinen ateria ennen kestävyysuoritusuutta vähensi rasvojen oksidaatiota suorituksen aikana noin puoleen verrattuna runsaasti proteiineja tai rasvoja sisältävään dieettiin. Samoin Rowlands ja Hopkins (2002a) totesivat kahden viikon runsashiilihydraattisen ruokavalioiden madaltavan rasvojen maksimaalista oksidaatiota kestävyysuoritusuudessa, kuten kuvassa 5 on esitetty. Myös Greenhaffin ym. (1988a; 1988b) tutkimuksissa runsashiilihydraattinen ruokavalioiden vaikutti rasva-aineenvaihduntaan madaltamalla veren rasvahappopitoisuuksia verrattuna vähähiilihydraattiseen ruokavaliioon. Samoissa tutkimuksissa todettiin myös runsashiilihydraattisen ruokavalioiden lisäävän elimistön emäksisyyttä, joten emästä tuottava ravinto näyttäisi alentavan elimistön rasva-aineenvaihduntaa.



KUVA 5. Rasvojen ja hiilihydraatin oksidaation osuus energiantuotosta kahdessa kestävyysuoritusuudessa erilaisten ruokavalioiden jälkeen (Rowlands & Hopkins 2002a).

3 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, vaikuttaako 12 viikon yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu elimistön rasva-aineenvaihduntaan levossa tai fyysisessä kuormituksessa. Lisäksi tarkasteltiin sitä, millä tavoin emäksisyyttä tai happamuutta tuottava ruokavalio vaikuttaa rasva-aineenvaihduntaan kyseisen harjoittelujakson aikana.

Tutkimusongelma 1: Vaikuttaako yhdistetty kolmen kuukauden kestävyys- ja voimaharjoittelu kahdella eri ruokavaliolla (emäksisyyttä tai happamuutta tuottava ruokavalio) veren lipidipitoisuuksiin sekä rasvojen oksidaatioon submaksimaalisessa kestävyysuorituksessa?

Goton ym. (2007a) mukaan lyhyet, peräkkäin tehdyt kestävyysharjoitukset nostavat harjoituksen aikaisia sekä sen jälkeisiä veren rasvahappo- ja glyserolipitoisuuksia enemmän kuin yksittäinen pidempi kestävyysharjoitus, mikä viittaa lisääntyneeseen lipolyysiin. Samassa tutkimuksessa havaittiin myös, että harjoituksen jälkeinen rasvojen oksidaatio on suurempaa lyhyiden harjoitusten kohdalla kuin yhtäjaksoisen harjoittelun kohdalla. Myös kestävyysharjoitusta edeltäneen voimaharjoituksen on todettu lisäävän kestävyysharjoituksen aikaisia veren rasvahappo- ja glyserolipitoisuuksia sekä rasvojen oksidaatiota verrattuna pelkkään kestävyysharjoitukseen (Goto ym. 2007b).

Kestävyysharjoittelun on useassa tutkimuksessa osoitettu lisäävän rasvojen oksidaatiota fyysisen kuormituksen aikana (Johnson ym. 2010; Van Aggel-Leijssen ym. 2002). Tämän ilmiön taustalla on Tunstallin ym. (2002) mukaan rasvahappojen kuljetukseen sekä β -oksideatioon liittyvien geenien ekspression lisääntyminen kestävyysharjoittelun myötä.

Hypoteesi 1: Yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu lisää rasvojen oksidaation osuutta energiantuotossa submaksimaalisessa kestävyysuorituksessa sekä happamuutta että emäksisyyttä tuottavalla ruokavaliolla.

Hypoteesi 2: Yhdistetty voima- ja kestävyysharjoittelu nostaa veren lipidipitoisuuksia submaksimaalisessa kestävyysuorituksessa sekä happamuutta että emäksisyyttä tuottavalla ruokavaliolla.

Tutkimusongelma 2: Voidaanko emästä tuottavalla, kasvispainotteisella ruokavaliolla yhdistetyn kolmen kuukauden kestävyys- ja voimaharjoittelun yhteydessä vaikuttaa veren lipidipitoisuuksiin sekä rasvojen oksidaatioon submaksimaalisessa kestävyysuorituksessa verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon?

Runsashiilihydraattinen dieetti lisää elimistön emäksisyyttä, kun taas runsasproteiininen ja vähähiilihydraattinen dieetti lisää happamoitumista (Greenhaff ym. 1987a; Greenhaff ym. 1987b). Rowlandsin ja Hopkinsin (2002a) mukaan kahden viikon runsashiilihydraattinen dieetti vähentää rasvojen oksidaatiota kestävyysuorituksessa verrattuna runsasrasvaiseen dieettiin. Samansuuntaisia tuloksia he saivat myös toisessa tutkimuksessaan, jossa runsashiilihydraattinen ateria ennen kovatehoista fyysistä kuormitusta vähensi selvästi rasvojen oksidaatiota kuormituksen aikana verrattuna vähähiilihydraattiseen dieettiin, mitä ainakin osittain selittävät madaltuneet veren rasvahappo- ja glyserolipitoisuudet runsashiilihydraattisen aterian jälkeen (Rowlands & Hopkins 2002b).

Hypoteesi 3: Emästä tuottava, kasvispainotteinen ruokavalio yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun yhteydessä aiheuttaa pienemmän nousun rasvan oksidaation osuudessa energiantuotosta submaksimaalisessa kestävyysuorituksessa kuin happamuutta tuottava ruokavalio.

Hypoteesi 4: Emästä tuottava, kasvispainotteinen ruokavalio yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun yhteydessä aiheuttaa pienemmän nousun veren lipidipitoisuuksissa submaksimaalisessa kestävyysuorituksessa kuin happamuutta tuottava ruokavalio.

Tutkimusongelma 3: Voidaanko emästä tuottavalla, kasvispainotteisella ruokavaliolla yhdistetyn kolmen kuukauden kestävyys- ja voimaharjoittelun yhteydessä vaikuttaa veren lipidien lepöpitoisuuksiin verrattuna happamuutta tuottavaan ruokavalioon?

Park ym. (2003) totesivat puolen vuoden yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun aiheuttavan veren kokonaiskolesterolin, LDL-kolesterolin sekä triglyseridien pitoisuuks-

4 TUTKIMUSMENETELMÄT

4.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui 49 vapaaehtoista koehenkilöä, joista noin puolet oli naisia ja puolet miehiä. Koehenkilöt olivat iältään 19 – 47 -vuotiaita ja he olivat fyysisesti aktiivisia kuntoliikkuja, mutta eivät kuitenkaan kilpaurheilijoita. Koehenkilöt jaettiin kahteen eri ryhmään ruokavalion perusteella (EMÄS / HAPAN). Tarkemmat tiedot koehenkilöistä sukupuolittain on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Koehenkilöiden tiedot (keskiarvo ja keskihajonta) ryhmittäin.

Ryhmä	N		Ikä (v)	Paino (kg)	Pituus (cm)	BMI (kg/m ²)	Hb (g/l)	Hkr (%)
M/HAPAN	13	k.arvo	30,3	78,6	176,5	25,2	152,9	45,2
		k.haj.	5,6	9,9	5,8	2,4	8,2	2,0
M/EMÄS	11	k.arvo	30,0	85,8	179,2	26,8	154,6	46,0
		k.haj.	8,2	10,0	6,6	3,4	4,9	1,3
N/HAPAN	12	k.arvo	30,5	65,3	166,3	23,6	130,1	39,2
		k.haj.	6,1	10,9	6,2	3,4	8,3	2,7
N/EMÄS	13	k.arvo	32,6	64,2	167,5	23,0	132,8	40,5
		k.haj.	7,1	7,5	7,2	3,5	9,9	3,0

4.2 Koeasetelma

Koehenkilöt jaettiin ruokavalioryhmiin (EMÄS / HAPAN) satunnaisesti siten, että kummassakin ryhmässä oli lähes saman verran miehiä ja naisia. EMÄS -ryhmä noudatti 12 viikon tutkimusjakson ajan ruokavaliota, jolla pyrittiin lisäämään elimistön emäksisyyttä. HAPAN -ryhmän ruokavalio taas koostettiin siten, että se tuottaisi happamuutta elimistöön. Ryhmät suorittivat tutkimusjakson aikana saman harjoitteluohjelman, joka sisälsi yhdistettyjä kestävyys- ja voimaharjoituksia.

Ravinto. EMÄS -ryhmän ruokavalio oli kasvispainotteinen ja koostui lähes kokonaan ruoka-aineista, joiden oli arvioitu PRAL -menetelmän avulla lisäävän elimistön emästen tuottoa. HAPAN -ryhmä söi muilta osin ravitsemussuosittelun mukaan, mutta heidän kasvien ja hedelmien saantinsa oli rajoitettua.

Ennen tutkimusjakson alkamista kaikille koehenkilöille annettiin ohjeita terveellisen ja ravitsemussuosittelun mukaisen ruokavalion koostamiseen. Koehenkilöt pitivät kolmen vuorokauden ajan normaalista ruokavaliostaan ruokapäiväkirjaa, joka analysoitiin ennen tutkimusjakson alkua ja jonka perusteella koehenkilöt saivat henkilökohtaista palautetta ravitsemussuosituksiin pohjautuen. Ruokapäiväkirjaa pidettiin myös tutkimusjakson alussa, puolivälissä ja lopussa kolmen vuorokauden ajan kerrallaan.

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 (MID) täytettiin tutkimusviikoilla 6-8. Ruokapäiväkirjajakso alkoi välittömästi välimittausten verikokeen ja virtsanäytteen jälkeen. Kolmas ruokapäiväkirja (POST) ajoittui tutkimusjakson loppuun, 12 harjoitusviikon jälkeen suoritetun mittausjakson kolmelle ensimmäiselle päivälle.

Ruokapäiväkirjoihin merkittiin kaikki kolmen päivän aikana syödyt ruoat ja juodut juomat mahdollisimman tarkasti. Kaksi tutkimusjakson jälkimmäistä ruokapäiväkirjaa analysoitiin NutriFlow -ravintolaskentaohjelmalla (Flow-Team Oy, Oulu, Finland, 2012). 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 ruokavaliioihin kuului myös ruoka-aineita, joita tuli välttää kokonaan. Vettä, maitoa, kahvia ja teetä sai juoda tarpeen mukaan (paitsi ei kahvia tai teetä 12 h ennen verikoetta). Monivitamiini- ja kivennäisainevalmisteiden käyttö oli sallittua tutkimuksen aikana. Harjoitusten jälkeen oli suosituksena nauttia proteiinipitoinen ateria tunnin sisällä harjoituksen päättymisestä.

HAPAN -ryhmän ruokavalio pyrittiin pitämään ravitsemussuosituksen mukaisena, mutta kasvien, hedelmien ja marjojen päivittäinen saanti ohjeistettiin 100–120 grammaan päivässä. EMÄS -ryhmän ruokavalio koostui suureksi osaksi kasviksista, hedelmistä ja marjoista. Koehenkilöitä ohjeistettiin syömään niitä päivän aikana vähintään 1000 g, mutta tavoitesaanti oli 1500 g päivässä. Jokaisella 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 ruokavaliopakson aikana rajoitettua. Vuorokausiannoksen yläraja määritettiin siten, että koehenkilön paino kerrottiin kahdella ja lukema muutettiin grammoiksi (esim. paino 65 kg*2=130 à lihaa enintään 130 g päivässä).

EMÄS -ryhmää neuvottiin käyttämään salaatin kanssa öljypohjaista salaatinkastiketta, 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.

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

Harjoittelu ohjelmoitiin nousujohteiseksi. Koko 12 viikon harjoittelujakso oli jaettu viiteen 1-4 viikon jaksoon, joiden aikana harjoitusohjelma vaihtui. Taulukossa 2 on esitetty ohjelmoinnin yleisrakenne. Ennen varsinaista harjoitusjaksoa oli ns. perehdyttämisjakso, jolloin opeteltiin eri harjoitteiden tekeminen ja suoritettiin alkutestit. Viimeisenä mittauksena siinä oli harjoituksen omainen kuormitus, joka lasketaan myös ensimmäiseksi harjoitukseksi. Kuormitusmittauksessa pyöräiltiin aluksi 30 min, 65 %:n teholla aiemmin maksimaalisella polkupyörätestillä suoralla menetelmällä määritetystä VO₂max:sta. Pyöräilyn aikana mitattiin sykettä ja laktaattia. Suoraan tämän jälkeen tehtiin voimaharjoituksen omainen voimakuormitus jalkaprässissä mittauksineen. Voimakuormituksessa sarjat suoritettiin tietyllä intensiteetillä aiemmin laitteella määritetystä toistomaksimista. Ennen ja jälkeen kummankin kuormitusosion suoritettiin valikoituja voimamittauksia (staattinen jalkaprässi ja kevennyshyppy) ja otettiin verinäytteitä.

Myös kaikki muut kestävyysharjoitukset tehtiin sykeohjatusti eri intensiteeteillä aiemmin määritettyjen kynnyssykkeiden mukaisesti. Sykettä mitattiin sykemittarilla (Polar 610i tai tutkittavan henkilökohtainen) ja lukema kirjattiin ylös harjoitustehon vaihtuessa tai 10 min välein.

Voimaharjoitusten kuormat perustuivat aiemmin perehdytysjaksolla määritettyihin toistomaksimeihin. Myös tässä harjoituksen voimaosiossa käytetyt kuormat ja suoritettavat toistot kirjattiin ylös jokaisesta sarjasta. Harjoitukset olivat ohjattuja ja kontrolloituja ja ne suoritettiin Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen laboratoriossa.

TAULUKKO 2. Harjoittelun ohjelmoinnin yleisrakenne (kaksi viimeistä harjoitusta ennen lopputestejä olivat intensiteetiltään kevennettyjä).

Viikot	Kestävyysharjoitus		Voimaharjoitus		
	Kesto (min)	Intensiteetti	Kesto (min)	Harjoitteet (lkm) (+harjoitusmuoto)	Intensiteetti (%max)
1	30	Peruskestävyys	50	7 (lihaskestävyys)	40 – 60
2 – 4	30	Peruskestävyys	50	7 (lihaskestävyys)	40 – 60
5 – 8	30 – 45	Peruskestävyys	60	7 (hypertrofia)	70 – 85
9 – 10	45 – 50	PK / VK / MK	70	7 (hypert. / maksv.)	75 – 90
11 – 12	50	PK / VK / MK	50	6 (maksimivoima)	90 - 95

4.3 Aineiston keräys ja analysointi

Antropometria. Tässä tutkimuksessa mitattiin koehenkilöiden antropometriaa pituuden, painon sekä rasvaprosentin osalta. Kaikki antropometriset mittaukset suoritettiin samalla mittauskerralla. Kehonkoostumusta arvioitiin DXA- (DXA Lunar Prodigy) ja InBody-laitteilla (Inbody 720). Antropometriset mittaukset suoritettiin aamulla noin 12 tunnin paaston jälkeen. Ensimmäisenä mitattiin koehenkilön pituus, minkä jälkeen suoritettiin kehonkoostumusmittaukset InBody:lla ja DXA:lla, joilla saatiin samalla mitattua myös koehenkilön paino. DXA-mittauksesta saatua painoa käytettiin painoindeksin (BMI) laskemiseen. Sekä InBody- että DXA-mittaus suoritettiin alusvaatteisillaan ilman koruja tai muita metalliesineitä. Antropometrinen testien yhteydessä mitattiin myös koehenkilöiden lepoverenpaine, joka määritettiin istualtaan automaattimittarilla (Omron).

Maksimaalinen hapenottokykytesti (VO_{2max}). Maksimaalinen hapenottokyky mitattiin polkupyöräergometrillä suoraa testiä käyttäen. Testi poljettiin Ergoline Ergometrics 800 polkupyöräergometrillä ja hengityskaasuja mitattiin Oxygon Pro (Jaeger, VIASYS Healthcare GmbH) hengityskaasuanalysointorilla. Testin aikana mitattiin myös sykettä (Polar S610i, Polar Electro) ja laktaattia (Biosen C-line, EKF Diagnostic) sekä kyseltiin

tutkittavan kuormittuneisuutta (RPE, Rate of Perceived Exertion). Hapenottokykytestiä käytettiin tässä tutkimuksessa sykerajojen ja maksimaalisen hapenottokyvyn määrittämiseen harjoittelujaksoa sekä submaksimaalista polkupyöräergometritestiä varten. Muissa samaan tutkimusprojektiin liittyvissä tutkimuksissa hapenottokykytestiä käytettiin muun muassa harjoitteluvaikutusten selvittämiseen.

Kun polkupyöräergometri oli säädetty tutkittavalle sopivaksi ja muut alkuvalmistelut (painon ja pituuden mittaaminen, maskin asennus ja koehenkilön ohjeistaminen) tehty, otettiin koehenkilöltä sormenpääverinäyte lepolaktaatin määrittämistä varten. Tämän jälkeen aloitettiin testi ilman varsinaista lämmittelyä. Ensimmäinen kuorma oli 50 W ja sitä lisättiin 25 W kahden (2) minuutin välein. Testi jatkui uupumukseen asti tai kunnes koehenkilö halusi lopettaa. Jokaisen kuorman loppupuolella koehenkilöltä kysyttiin henkilökohtaista arviota kuormittuneisuudesta (RPE). Syke mitattiin kuorman n. 15 viimeisen sekunnin keskiarvona ja laktaatti mitattiin sormenpääverinäytteestä kuorman lopussa.

Hengityskaasumittausten ja laktaattiarvojen perusteella määritettiin tutkittavan aerobinen ja anaerobinen kynnyksen sekä maksimaalinen hapenottokyky ja maksimaalinen (pyöräily) teho. Maksimaalinen hapenottokyky oli suurin 30 sekunnin keskiarvostuksella saavutettu hapenottokyvyn (VO_2) arvo. Maksimaalinen teho (W) laskettiin viimeisen loppuun asti poljetun kuorman ja seuraavaa kuormaa poljetun ajan painotettuna keskiarvona (viimeisen loppuun asti poljetun kuorman teho + viimeistä kuormaa poljettu aika (min) / 2 min x 25W). Maksimaalisen hapenottokyvyn perusteella laskettiin pyöräilytehot submaksimaalista polkupyöräergometritestiä varten.

Hengitysosamäärä ($RQ = \text{respiratory quotient} = VCO_2/VO_2$) määritettiin hengityskaasusta tuotetun hiilidioksidin ja kulutetun hapen suhteen perusteella. Hengitysosamäärän avulla voidaan arvioida eri energiaravintoaineiden osuuksia energiantuotosta, koska hiilihydraattien ja rasvojen oksidaatioissa tarvittavan hapen ja tuotettavan hiilidioksidin suhteet eroavat toisistaan. Hiilihydraattien oksidaatioissa tuotetun hiilidioksidin ja kulutetun hapen suhde, eli hengitysosamäärä, on 1,00, kun taas rasvojen oksidaatioissa hengitysosamäärä on 0,70. Levossa ja kevyen liikuntasuorituksen aikana hengitysosamäärä on siis normaaliruokavaliota noudattavalla 0,70:n ja 1,00:n välillä. (McArdle ym. 2010, 186 – 190.)

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

Submaksimaalinen polkupyöräergometritesti. Vähintään kahden päivän palautuksen jälkeen edeltävästä (maksimaalisen hapenottokyvyn) testistä tutkittavat suorittivat submaksimaalisen polkupyöräergometritestin, jossa he polkivat (Ergoline, Ergometrics 800) kolmella eri kuormitustasolla maksimaalisesta hapenottokyvystään. Käytetyt kuormitustasot olivat 35 %, 55 % ja 75 % VO_{2max} :sta. Kuormat kyseisille rasiustasolle määritettiin laskemalla kyseinen prosenttiosuus maksimaalisen hapenottokyvyn testissä saavutetusta maksimaalisen hapenottokyvyn arvosta. Tätä hapenottokykyä verrattiin VO_{2max} - testin aikaisiin VO_2 -arvoihin ja kuorma asetettiin tasolle (W), joka vastasi hapenkulutukseltaan haluttua tasoa.

Ennen testiä tutkittavalta otettiin lepoerinäyte laskimosta ja sormenpäästä. Näistä näytteistä määritettiin veren vapaat rasvahapot, triglyseridit, HDL-, LDL- ja kokonaiskolesteroli sekä muita samaan tutkimusprojektiin liittyviä tutkimuksia varten laktaatti ja glukoosi (Biosen C-line, EKF Diagnostic), verikaasut (GemPremier 3000, Instrumentation laboratorio), perusverenkuva (Sysmex KX-21N, Sysmex Corporation) sekä hormoneita (Immulate 1000, Siemens). Vastaavat muuttujat määritettiin jatkossa myös kuormitustasojen välissä ja lopussa.

Alkuvalmistelujen (pyörän säätö, punnitus, maskin asennus, tutkittavan ohjeistus) jälkeen tutkittava suoritti viiden minuutin lämmittelyn kevyellä 50 W:n kuormalla ilman hengityskaasumittausta. Syke ja RPE mitattiin lämmittelyn lopuksi. Varsinaisen testin aikana tutkittava polki kolme (3) kertaa kahdeksan (8) minuuttia eri vastuksilla (35 %, 55 % ja 75 % VO_{2max} :sta). Kuormien välissä oli neljän (4) minuutin tauko, jonka ai-

kana tutkittava nousi pyörän selästä verikokeiden ottoa varten. Laskimo- ja sormenpääverinäytteistä analysoitiin edellä mainitut muuttujat. Hengityskaasuja mitattiin (Oxygon Pro, Jaeger, VIASYS Healthcare GmbH) koko pyöräilykuormituksen ajan (ei palautuksessa) ja syke mitattiin (Polar S610i, Polar Electro) (15 s keskiarvona) sekä RPE kysyttiin jokaisen kuorman puolella välissä ja lopussa.

Akuutti mittaus. Alkumittauksissa ensimmäiseksi harjoitukseksi laskettu ja toisaalta loppumittauksissa mittausjakson päättävä testi oli harjoituksenomainen kuormitusmittaus, jossa seurattiin harjoituksen välittömiä vasteita (nk. akuutti kuormitus). Kyseinen mittaus koostui varsinaisesta kuormituspäivästä ja sitä seuraavista kahdesta seuranta-päivästä. Tässä tutkimuksessa käytettiin ennen akuuttia mittausta otettuja paastoverinäytteitä (veren triglyseridi-, rasvahappo-, HDL-, LDL- ja kokonaiskolesterolipitoisuus sekä veren pH) sekä virtsanäytteitä, mutta muilta osin akuutti mittaus toimi tämän tutkimuksen kohdalla vain harjoitusjakson ensimmäisenä sekä viimeisenä harjoituksena.

Tutkittava saapui aamulla (ennen klo 10) 12 h paaston jälkeen verikokeeseen ja toi 12 h:n aikana kerätyn virtsan mukanaan. Verikokeesta analysoitiin edellä mainittujen rasva-arvojen ja pH:n lisäksi mm. hormoneita sekä verikaasumuuttujia. Mikäli tutkittava suoritti kuormituksen aamulla alkaen klo 7-10, hän aloitti sen heti pienen aamupalan jälkeen (lasi tuoremehua, ruisleipäviipale, juustoviipale ja kurkkua). Mikäli kuormitus suoritettiin vasta iltapäivällä (alkaen klo 13 tai myöhemmin), tutkittava sai poistua paastoverikokeen jälkeen ja saapui mittaukseen sovittuna aikana. Tällöin tutkittavalta otettiin vielä yksi verikoe (time of the day -näyte) ennen kuormituksen aloittamista. Ennen kuormitusta tutkittava myös punnittiin vaatteet ja kengät jalassa (vertailu samoissa varusteissa kuormituksen jälkeen) ja häneltä otettiin lepolaktaatinäyte sormenpäästä (analysointi Biosen C-line).

Varsinainen kuormitus alkoi viiden (5) minuutin lämmittelyllä, jossa tutkittava sai polkea omavalintaisella vastuksella (kierrokset 70 krt/min). Tämän jälkeen tutkittava suoritti kolme isometristä jalkojen ojennusta jalkaprässissä ja kolme kevennyshyppyä voimalevyllä (PRE). Suoritusten välissä oli (1) minuutin tauko.

Ensimmäisenä kuormitusosiona oli 30 minuutin pyöräily 65 % teholla (W) maksimaalisesta tehosta (mitattu maksimaalisen hapenottokyvyn testin yhteydessä). Sykemittari

(Polar S610i) käynnistettiin pyöräilyn alussa ja sykettä tallennettiin koko kuormituksen ajan. Myöhemmin sykekäyrä purettiin Polar Precision Performace –ohjelmalla tarkempaa analysointia varten. Syke myös kirjattiin ylös n. 15 s keskiarvona kymmenen (10) minuutin välein (10, 20 ja 30 min kuormituksen kohdalla), jolloin otettiin myös laktaattinäytteet sormenpäältä.

Pyöräilyn jälkeen tutkittavat siirtyivät jälleen tekemään isometrisen jalkaprässipuristuksen ja kevennyshypyn (MID). Kummastakin tehtiin kaksi suoritusta ja suoritusten välillä oli lyhyt n. 15 s tauko. Tämän jälkeen tutkittavilta otettiin verikoe kyynärtaipeesta ja he saivat juoda lasillisen (2 dl) vettä.

Kuormitus jatkui voimaosioilla jalkaprässissä. Sykkeen tallentamista jatkettiin, ja ennen kuormitusta otettiin laktaattinäyte sormenpäältä. Ensin jalkaprässissä suoritettiin jalkojen ojennus räjähtävästi 3 x 10 toistoa 40 % kuormalla maksimista (voimamittausten yhteydessä mitattu). Sarjojen välissä oli 3 minuutin palautus. Tämän jälkeen suoritettiin maksimivoimaosio, jossa edelleen kolmen minuutin sarjapalautuksilla suoritettiin kolmen toiston sarjoja ensin kerran 75 % teholla ja sen jälkeen kolme sarjaa 90 %:n teholla. Lopuksi tehtiin vielä hypertrofistyypinen kuormitus, jossa suoritettiin 2 minuutin sarjapalautuksilla 4 x 10 toiston sarjoja 75 %, 80 %, 80 % ja 75 % kuormilla. Voimakuormituksen kuormitusmalli lyhyemmin:

3 x 10 x 40 %, 3 min palautuksella räjähtävästi

1 x 3 x 75 %, 3 min palautus

3 x 3 x 90 %, 3 min palautus

4 x 10 x 75/80/80/75 %, 2 min palautus

Voimakuormituksen jälkeen tutkittava suoritti jälleen kaksi isometristä jalkaprässipuristusta ja kaksi kevennyshyppyä lyhyellä palautuksella (POST). Tämän jälkeen tutkittavalta otettiin sormenpäältä laktaattinäyte ja kyynärtaipeesta muita muuttujia varten verinäyte. Lopuksi tutkittava vielä punnittiin samassa varustuksessa kuin ennen testiä.

Seurantapäivinä 24 tunnin ja 48 tunnin jälkeen kuormitusmittauksesta suoritettiin seurantamittaukset. Niihin koehenkilö saapui normaalisti syöneenä sovittuna ajankohtana. Häneltä otettiin kyynärtaipeesta verinäyte, ja hän suoritti kolme isometristä jalkojen

ojennusta jalkaprässissä ja kolme kevennyshyppyä voimalevyllä. Suoritusten välissä oli jälleen (1) minuutin palautus.

Virtsanäytteet. Akuutin mittauksen yhteydessä kerätyistä 12 tunnin virtsanäytteistä analysoitiin pH sekä näytteen tilavuus välittömästi. pH analysoitiin kastamalla pH-liuska näytteeseen (Combur⁷ Test urinalysis test strips, Cobas, Roche; Germany). Virtsanäytteistä analysoitiin myös muun muassa elektrolyyttipitoisuuksia muita samaan tutkimusprojektiin liittyviä tutkimuksia varten.

4.4 Tilastolliset menetelmät

Tilastolliset analyysit suoritettiin SPSS 18.0 for Windows -ohjelmalla (SPSS, Inc, US). Tuloksista laskettiin ensin keskiarvot ja keskihajonnat. Ryhmien välisten erojen tilastollisessa tarkastelussa käytettiin varianssianalyysiä ja aikapisteiden väliset tilastolliset testit suoritettiin käyttämällä parittaista t-testiä. Tilastollisen merkitsevyyden rajana tässä tutkimuksessa oli $p < 0,05$.

5 TULOKSET

5.1 Ravinto

Miesten energian ja ravintoaineiden saanti eri mittauspisteissä on esitetty taulukossa 3 ja naisten osalta samat tulokset ovat taulukossa 4. Energiansaannissa ei havaittu merkitseviä eroja ryhmien välillä missään mittauspisteessä. Miesten EMÄS -ryhmä sai tutkimusjakson puolivälissä ravinnostaan merkitsevästi HAPAN -ryhmän miehiä vähemmän proteiinia ($1,0 \pm 0,3$ g/kg vs. $1,4 \pm 0,5$ g/kg, $p < 0,05$) ja rasvaa ($0,8 \pm 0,3$ g/kg vs. $1,2 \pm 0,4$ g/kg, $p < 0,05$), kun määrät suhteutettiin kehonpainoon. Toisaalta EMÄS -ryhmän miehet söivät tutkimusjakson puolivälissä ja sen lopussa merkitsevästi HAPAN -ryhmän miehiä enemmän kasviksia ja hedelmiä sekä absoluuttisena määränä (MID: 898 ± 302 g vs. 247 ± 243 g, $p < 0,001$; POST: 803 ± 380 g vs. 226 ± 96 g, $p < 0,01$) että kehonpainoon suhteutettuna (MID: $10,6 \pm 4,1$ g/kg vs. $3,5 \pm 3,4$ g/kg, $p < 0,001$; POST: $10,5 \pm 5,1$ g/kg vs. $2,8 \pm 1,1$ g/kg, $p < 0,05$).

Naisilla energiaravintoaineiden saannissa ei ollut merkitseviä eroja ryhmien välillä. Naisten EMÄS -ryhmän kasvien ja hedelmien saanti oli jo ennen tutkimusjaksoa merkitsevästi HAPAN -ryhmän naisia suurempaa (396 ± 203 g vs. 249 ± 75 g, $p < 0,05$), mutta tutkimusjakson aikana ero ryhmien välillä kasvoi huomattavasti suuremmaksi (MID: 927 ± 307 g vs. 209 ± 159 g, $p < 0,001$; POST: 1066 ± 634 g vs. 264 ± 273 g, $p < 0,001$). Myös kehonpainoon suhteutetuissa kasvien ja hedelmien määrissä naisten ryhmien välillä oli samansuuntainen ero kaikissa mittauspisteissä (PRE: $6,5 \pm 3,6$ g/kg vs. $4,1 \pm 1,4$ g/kg, $p < 0,05$; MID: $14,6 \pm 5,3$ g/kg vs. $3,1 \pm 2,5$ g/kg, $p < 0,001$; POST: $18,0 \pm 10,8$ g/kg vs. $4,2 \pm 4,4$ g/kg, $p < 0,001$).

TAULUKKO 3. EMÄS- ja HAPAN -ryhmän miesten energian ja ravintoaineiden saanti tutkimuksen eri mittauspisteissä. Arvot on esitetty absoluuttisina määrinä sekä suhteessa kehonpainoon (* = tilastollisesti merkitsevä ero HAPAN -ryhmään nähden ($p < 0,05$); ** = tilastollisesti merkitsevä ero HAPAN -ryhmään nähden ($p < 0,01$); *** = tilastollisesti merkitsevä ero HAPAN -ryhmään nähden ($p < 0,001$)).

Muuttujat		Energian ja ravintoaineiden saanti (miehet)					
		EMÄS (mies)			HAPAN (mies)		
		PRE	MID	POST	PRE	MID	POST
energia	kcal	2724±840	1930±571	1930±520	2223±603	2207±647	2184±686
	kcal/kg	32,1±11,0	23,1±8,7	24,6±7,4	28,8±8,0	29,8±8,5	27,8±8,4
hiilihydraatti	g	286±107	190±80	208±124	227±67	237±72	246±80
	g/kg	3,4±1,5	2,2±1,0	2,5±1,7	2,9±0,9	3,2±0,9	3,1±0,9
proteiini	g	131±62	82±25	91±15	102±35	107±35	110±30
	g/kg	1,5±0,7	1,0±0,3*	1,1±0,2	1,3±0,5	1,4±0,5	1,4±0,4
rasva	g	104±32	66±21	60±20	92±31	87±33	73±30
	g/kg	1,2±0,4	0,8±0,3*	0,8±0,3	1,2±0,4	1,2±0,4	0,9±0,4
kasvikset ja hedelmät	g	280±144	898±302***	803±380**	287±243	247±250	226±96
	g/kg	3,3±1,8	10,6±4,1***	10,5±5,1*	3,9±3,4	3,5±3,4	2,8±1,1

TAULUKKO 4. EMÄS- ja HAPAN -ryhmän naisten energian ja ravintoaineiden saanti tutkimuksen eri mittauspisteissä. Arvot on esitetty absoluuttisina määrinä sekä suhteessa kehonpainoon (* = tilastollisesti merkitsevä ero HAPAN -ryhmään nähden ($p < 0,05$); *** = tilastollisesti merkitsevä ero HAPAN -ryhmään nähden ($p < 0,001$)).

Muuttuja		Energian ja ravintoaineiden saanti (naiset)					
		EMÄS (nainen)			HAPAN (nainen)		
		PRE	MID	POST	PRE	MID	POST
energia	kcal	2007±378	1880±365	1856±500	1905±297	1959±610	1870±342
	kcal/kg	32,1±6,7	29,4±7,1	29,6±10,1	30,0±5,9	31,9±12,3	27,6±5,8
hiili- hydraatti	g	223±56	230±41	238±67	233±44	233±79	215±48
	g/kg	3,6±0,9	3,6±0,8	3,8±1,3	3,6±0,7	3,8±1,6	3,2±0,8
proteiini	g	83±27	70±11	69±11	74±12	84±25	78±16
	g/kg	1,3±0,5	1,1±0,2	1,1±0,3	1,2±0,2	1,4±0,5	1,1±0,2
rasva	g	80±19	71±26	66±46	68±20	72±28	70±23
	g/kg	1,3±0,3	1,1±0,4	1,0±0,8	1,1±0,4	1,2±0,5	1,0±0,4
kasvikset ja hedelmät	g	396±203*	927±307***	1066±634***	249±75	209±159	264±273
	g/kg	6,5±3,6*	14,6±5,3***	18,0±10,8***	4,1±1,4	3,1±2,5	4,2±4,4

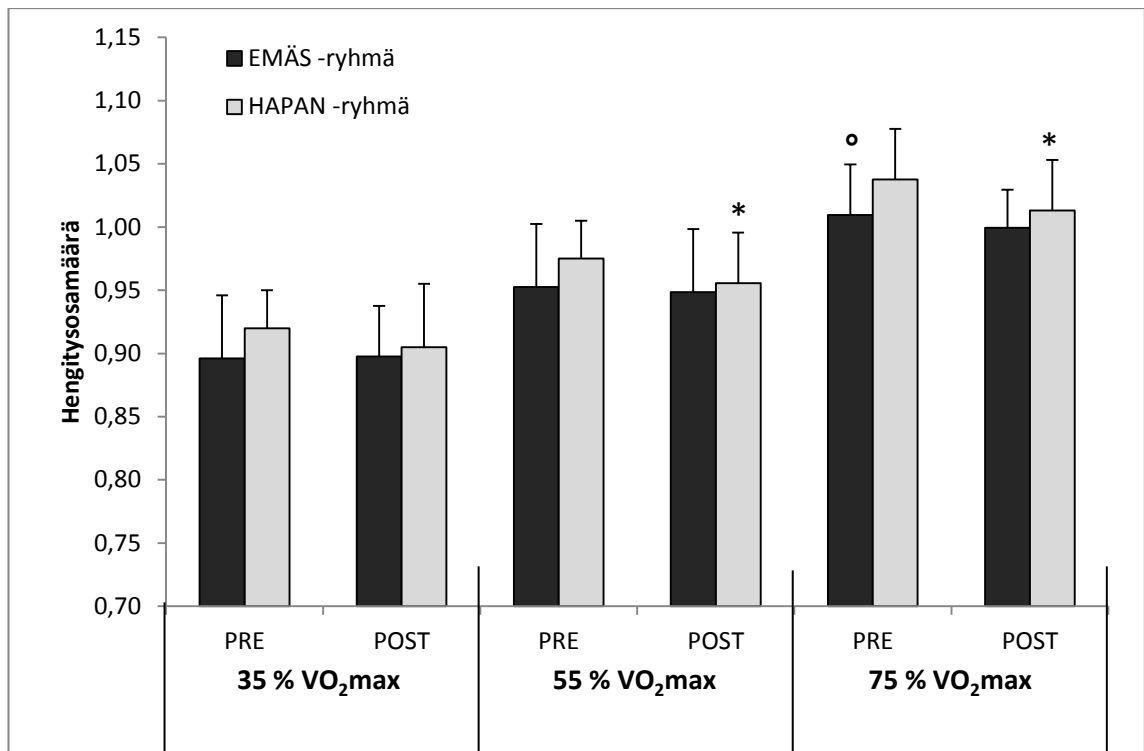
5.2 Rasva-aineenvaihdunta

Hengitysosamäärä. Koehenkilöiden hengitysosamäärä submaksimaalisessa suorituksessa on esitetty taulukossa 5. EMÄS -ryhmän naisten hengitysosamäärä oli merkitsevästi HAPAN -ryhmän naisia matalampi ennen tutkimusjaksoa tehoilla 35 % VO_{2max} ($0,89 \pm 0,05$ vs. $0,93 \pm 0,02$; $p = 0,046$) sekä 55 % VO_{2max} ($0,94 \pm 0,04$ vs. $0,98 \pm 0,03$; $p = 0,015$). Tutkimusjakson myötä nämä erot kuitenkin tasoittuivat. HAPAN -ryhmän miesten hengitysosamäärä laski tutkimusjakson aikana 1,9 % suurimmalla (75 % VO_{2max}) suoritusteholla ($1,03 \pm 0,04$ vs. $1,01 \pm 0,03$, $p = 0,017$), mutta muilla tehoilla tai muiden ryhmien kohdalla ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia.

TAULUKKO 5. Hengitysosamäärä submaksimaalisessa suorituksessa ennen tutkimusjaksoa sekä sen jälkeen (° = tilastollisesti merkitsevä ero HAPAN -ryhmään nähden ($p < 0,05$); * = tilastollisesti merkitsevä ero PRE – arvoon nähden ($p < 0,05$)).

Mittauspiste		Hengitysosamäärä			
		EMÄS (mies)	EMÄS (nainen)	HAPAN (mies)	HAPAN (nainen)
35% VO _{2max}	PRE	0,90 ± 0,05	0,89 ± 0,05 °	0,91 ± 0,04	0,93 ± 0,02
	POST	0,90 ± 0,03	0,90 ± 0,05	0,91 ± 0,04	0,90 ± 0,05
55% VO _{2max}	PRE	0,98 ± 0,06	0,94 ± 0,04 °	0,97 ± 0,04	0,98 ± 0,03
	POST	0,95 ± 0,04	0,95 ± 0,05	0,96 ± 0,04	0,96 ± 0,04
75% VO _{2max}	PRE	1,01 ± 0,03	1,01 ± 0,04	1,03 ± 0,04	1,04 ± 0,05
	POST	1,00 ± 0,03	1,00 ± 0,03	1,01 ± 0,03 *	1,02 ± 0,05

Kun hengitysosamäärää tarkastellaan ilman sukupuolierottelua, laski HAPAN -ryhmän hengitysosamäärä submaksimaalisessa suorituksessa merkitsevästi tutkimusjakson aikana tehoilla 55 % VO_{2max} (0,98 ± 0,03 vs. 0,96 ± 0,04, $p = 0,016$) sekä 75 % VO_{2max} (1,04 ± 0,04 vs. 1,01 ± 0,04, $p = 0,007$). Muutosten suuruudet olivat 2,0 % ja 2,9 %. EMÄS -ryhmän osalta hengitysosamäärässä ei tapahtunut muutosta tälläkään tarkastelutavalla. Ennen tutkimusjaksoa HAPAN -ryhmän hengitysosamäärä oli submaksimaalisessa suorituksessa 75 % VO_{2max} teholla merkitsevästi suurempi kuin EMÄS -ryhmän (1,04 ± 0,04 vs. 1,01 ± 0,04, $p = 0,035$), mutta tutkimusjakson aikana ero tasoittui. Hengitysosamäärän tulokset ilman sukupuolierottelua on esitetty kuvassa 6.



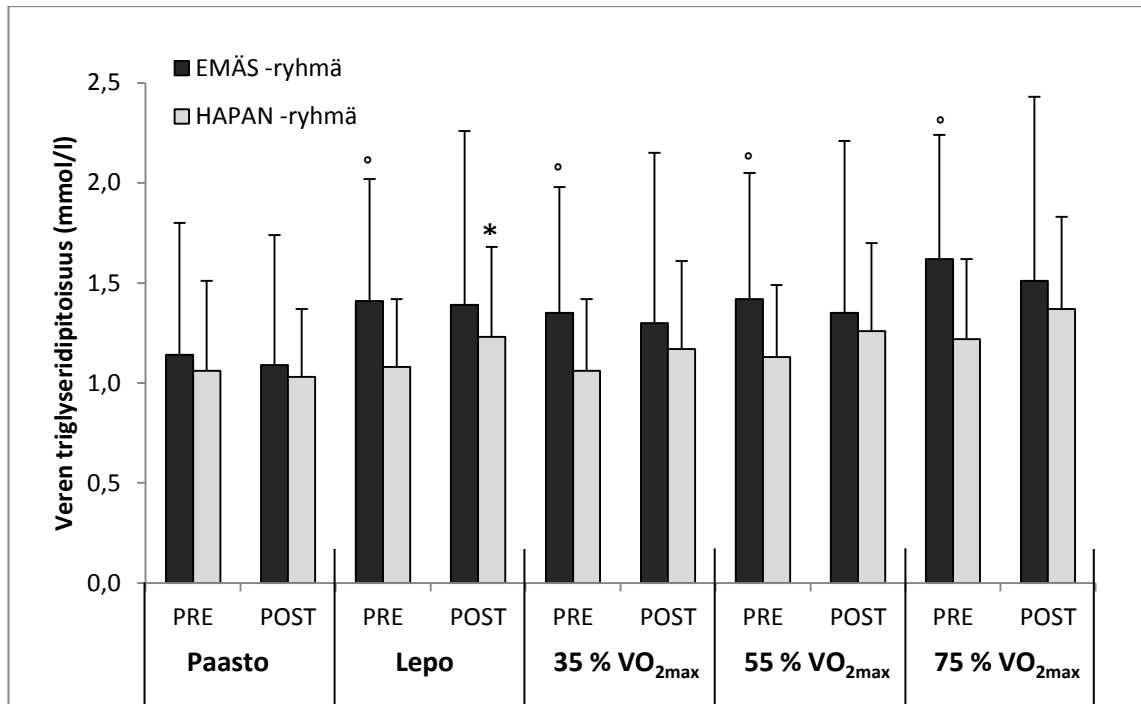
KUVA 6. Hengitysosamäärä submaksimaalisen suorituksen aikana ilman sukupuolierottelua (* = tilastollisesti merkitsevä ero PRE – arvoon nähden ($p < 0,05$); ° = tilastollisesti merkitsevä ero HAPAN -ryhmään nähden ($p < 0,05$)).

Veren triglyseridipitoisuus. Taulukossa 6 on esitetty koehenkilöiden veren triglyseridipitoisuudet tutkimuksen eri vaiheissa. EMÄS -ryhmän naisten veren triglyseridipitoisuus laski tutkimusjakson myötä levossa 13,1 % ($1,30 \pm 0,51$ mmol/l vs. $1,13 \pm 0,44$ mmol/l; $p = 0,016$) sekä submaksimaalisessa suorituksessa 35 % VO₂max teholla 15,0 % ($1,20 \pm 0,55$ mmol/l vs. $1,02 \pm 0,49$ mmol/l; $p = 0,038$). HAPAN -ryhmän miesten veren triglyseridipitoisuus taas nousi tutkimusjakson aikana sekä levossa ($1,14 \pm 0,36$ mmol/l vs. $1,38 \pm 0,44$ mmol/l; $p = 0,039$) että submaksimaalisessa suorituksessa kaikilla suoritus-tehoilla (35% VO₂max: $1,15 \pm 0,37$ mmol/l vs. $1,37 \pm 0,44$ mmol/l, $p = 0,024$; 55% VO₂max: $1,22 \pm 0,37$ mmol/l vs. $1,42 \pm 0,42$ mmol/l, $p = 0,027$; 75% VO₂max: $1,29 \pm 0,44$ mmol/l vs. $1,55 \pm 0,47$ mmol/l, $p = 0,026$). Triglyseridipitoisuuden nousu oli levossa 21,1 % ja submaksimaalisen suorituksen eri suoritus-tehoilla 19,1 %, 16,4 % sekä 20,2 %. EMÄS -ryhmän miehillä ja HAPAN -ryhmän naisilla ei havaittu muutoksia veren triglyseridipitoisuuksissa. Ryhmien välillä oli merkitsevä ero ainoastaan miehillä ennen tutkimusjaksoa submaksimaalisessa suorituksessa teholla 75 % VO₂max ($1,87 \pm 0,76$ mmol/l vs. $1,29 \pm 0,44$ mmol/l; $p = 0,031$).

TAULUKKO 6. Veren triglyseridipitoisuus paastossa, levossa sekä submaksimaalisessa suorituksessa ennen tutkimusjaksoa sekä sen jälkeen (° = tilastollisesti merkitsevä ero HAPAN -ryhmään nähden ($p < 0,05$); * = tilastollisesti merkitsevä ero PRE – arvoon nähden ($p < 0,05$)).

Mittauspiste		Veren triglyseridipitoisuus (mmol/l)			
		EMÄS (mies)	EMÄS (nainen)	HAPAN (mies)	HAPAN (nainen)
Paasto	PRE	1,42 ± 0,78	0,93 ± 0,47	1,05 ± 0,50	1,07 ± 0,40
	POST	1,38 ± 0,79	0,88 ± 0,44	1,05 ± 0,32	1,01 ± 0,37
Lepo	PRE	1,60 ± 0,75	1,30 ± 0,51	1,14 ± 0,36	1,03 ± 0,32
	POST	1,84 ± 1,24	1,13 ± 0,44 *	1,38 ± 0,44 *	1,09 ± 0,44
35% VO _{2max}	PRE	1,58 ± 0,73	1,20 ± 0,55	1,15 ± 0,37	0,97 ± 0,33
	POST	1,74 ± 1,12	1,02 ± 0,49 *	1,37 ± 0,44 *	0,96 ± 0,35
55% VO _{2max}	PRE	1,71 ± 0,70	1,24 ± 0,52	1,22 ± 0,37	1,04 ± 0,35
	POST	1,81 ± 1,12	1,06 ± 0,52	1,42 ± 0,42 *	1,09 ± 0,42
75% VO _{2max}	PRE	1,87 ± 0,76 °	1,44 ± 0,47	1,29 ± 0,44	1,17 ± 0,39
	POST	1,85 ± 1,23	1,27 ± 0,59	1,55 ± 0,47 *	1,22 ± 0,41

Kun veren triglyseridipitoisuutta tarkastellaan ilman sukupuolierottelua, oli EMÄS -ryhmän veren triglyseridipitoisuus merkitsevästi HAPAN -ryhmää suurempi ennen tutkimusjaksoa lepotilassa ($1,41 \pm 0,61$ mmol/l vs. $1,08 \pm 0,34$ mmol/l; $p = 0,019$) sekä submaksimaalisessa suorituksessa kaikilla suoritustehoilla (35% VO_{2max}: $1,35 \pm 0,63$ mmol/l vs. $1,06 \pm 0,36$ mmol/l, $p = 0,03$; 55% VO_{2max}: $1,42 \pm 0,63$ mmol/l vs. $1,13 \pm 0,36$ mmol/l, $p = 0,027$; 75% VO_{2max}: $1,62 \pm 0,62$ mmol/l vs. $1,22 \pm 0,40$ mmol/l, $p = 0,038$). Tutkimusjakson myötä nämä erot kuitenkin tasoittuivat kaikissa mittauspisteissä. HAPAN -ryhmällä veren triglyseridipitoisuus nousi tutkimusjakson aikana tilastollisesti merkitsevästi lepotilassa ($1,08 \pm 0,34$ mmol/l vs. $1,23 \pm 0,45$ mmol/l; $p = 0,045$), mutta submaksimaalisessa suorituksessa tai paastotilassa muutosta ei tapahtunut. EMÄS -ryhmän triglyseridipitoisuudet eivät muuttuneet tutkimusjakson myötä missään mittauspisteessä. Veren triglyseridipitoisuudet ilman sukupuolierottelua on esitetty kuvassa 7.



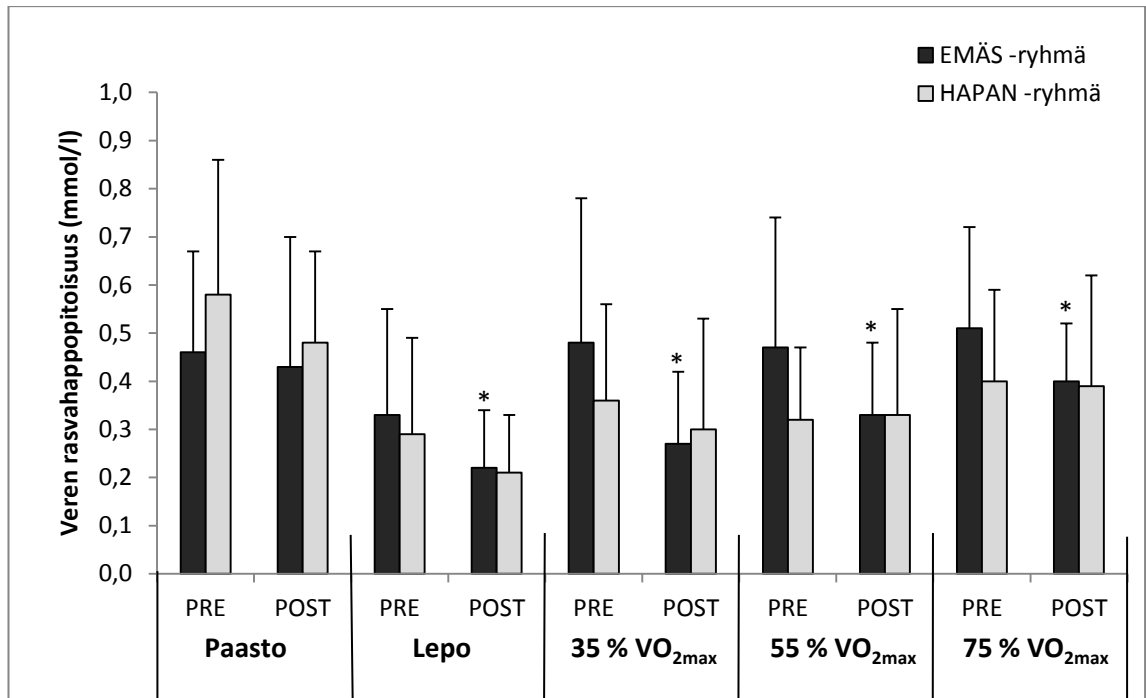
KUVA 7. Veren triglyseridipitoisuus ilman sukupuolierottelua tutkimuksen eri vaiheissa (° = tilastollisesti merkitsevä ero HAPAN -ryhmään nähden ($p < 0,05$); * = tilastollisesti merkitsevä ero PRE - arvoon nähden ($p < 0,05$)).

Veren vapaiden rasvahappojen pitoisuus. EMÄS -ryhmän naisten veren rasvahappopitoisuus laski tutkimusjakson myötä 48,6 % levossa ($0,37 \pm 0,26$ mmol/l vs. $0,19 \pm 0,09$ mmol/l; $p = 0,02$) sekä 52,1 %, 46,2 % ja 32,7 % submaksimaalisessa suorituksessa eri suoritusnopeuksilla (35% VO_{2max}: $0,48 \pm 0,28$ mmol/l vs. $0,23 \pm 0,13$ mmol/l, $p = 0,001$; 55% VO_{2max}: $0,52 \pm 0,32$ mmol/l vs. $0,28 \pm 0,10$ mmol/l, $p = 0,015$; 75% VO_{2max}: $0,55 \pm 0,21$ mmol/l vs. $0,37 \pm 0,10$ mmol/l, $p = 0,024$). Muilla ryhmillä ei havaittu muutoksia tutkimusjakson aikana eikä ryhmien välillä ollut eroja missään mittauspisteessä. Veren rasvahappopitoisuudet tutkimuksen eri vaiheissa on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Veren rasvahappopitoisuus paastossa, levossa sekä submaksimaalisessa suorituksessa ennen tutkimusjaksoa sekä sen jälkeen (* = tilastollisesti merkitsevä ero PRE – arvoon nähden ($p < 0,05$)).

Mittauspiste		Veren rasvahappopitoisuus (mmol/l)			
		EMÄS (mies)	EMÄS (nainen)	HAPAN (mies)	HAPAN (nainen)
Paasto	PRE	0,48 ± 0,26	0,44 ± 0,18	0,52 ± 0,21	0,64 ± 0,33
	POST	0,47 ± 0,37	0,40 ± 0,18	0,46 ± 0,20	0,51 ± 0,18
Lepo	PRE	0,27 ± 0,09	0,37 ± 0,26	0,34 ± 0,23	0,23 ± 0,16
	POST	0,26 ± 0,17	0,19 ± 0,09 *	0,25 ± 0,13	0,17 ± 0,11
35% VO _{2max}	PRE	0,49 ± 0,35	0,48 ± 0,28	0,34 ± 0,15	0,39 ± 0,25
	POST	0,34 ± 0,16	0,23 ± 0,13 *	0,31 ± 0,13	0,29 ± 0,30
55% VO _{2max}	PRE	0,38 ± 0,18	0,52 ± 0,32	0,30 ± 0,14	0,33 ± 0,17
	POST	0,40 ± 0,20	0,28 ± 0,10 *	0,32 ± 0,16	0,34 ± 0,27
75% VO _{2max}	PRE	0,43 ± 0,19	0,55 ± 0,21	0,36 ± 0,17	0,44 ± 0,21
	POST	0,43 ± 0,15	0,37 ± 0,10 *	0,36 ± 0,17	0,41 ± 0,28

Kun tarkastellaan ryhmiä ilman sukupuolierottelua, EMÄS -ryhmän veren rasvahappopitoisuus laski myös tilastollisesti merkitsevästi tutkimusjakson myötä sekä lepotilassa ($0,33 \pm 0,22$ mmol/l vs. $0,22 \pm 0,12$ mmol/l, $p = 0,03$) että submaksimaalisessa suorituksessa kaikilla suoritustehoilla (35 % VO_{2max}: $0,48 \pm 0,30$ mmol/l vs. $0,27 \pm 0,15$ mmol/l, $p = 0,002$; 55 % VO_{2max}: $0,47 \pm 0,27$ mmol/l vs. $0,33 \pm 0,15$ mmol/l, $p = 0,048$; 75 % VO_{2max}: $0,51 \pm 0,21$ mmol/l vs. $0,40 \pm 0,12$ mmol/l, $p = 0,049$). Muutoksen suuruus oli levossa 33,3 % ja submaksimaalisessa suorituksessa 43,8 %, 29,8 % sekä 21,6 % eri suoritustehoilla. HAPAN -ryhmän veren rasvahappopitoisuus taas ei muuttunut tutkimusjakson myötä missään mittauspisteessä. Veren rasvahappopitoisuudet ilman sukupuolierottelua on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Veren rasvahappopitoisuus ilman sukupuolierottelua paastossa, levossa sekä submaksimaalisen suorituksen aikana (* = tilastollisesti merkitsevä ero PRE - arvoon nähden ($p < 0,05$)).

Veren kolesterolipitoisuudet. Taulukossa 8 on esitetty veren kokonaiskolesterolipitoisuus sekä HDL- ja LDL -kolesterolien pitoisuudet tutkimusjaksoa ennen sekä sen jälkeen. Kolesterolipitoisuuksissa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia tutkimusjakson myötä eikä ryhmien välillä ollut merkitsevää eroa missään mittauspisteessä. Myöskään ilman sukupuolierottelua tarkasteltuna kolesteroliarvoissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja tai muutoksia.

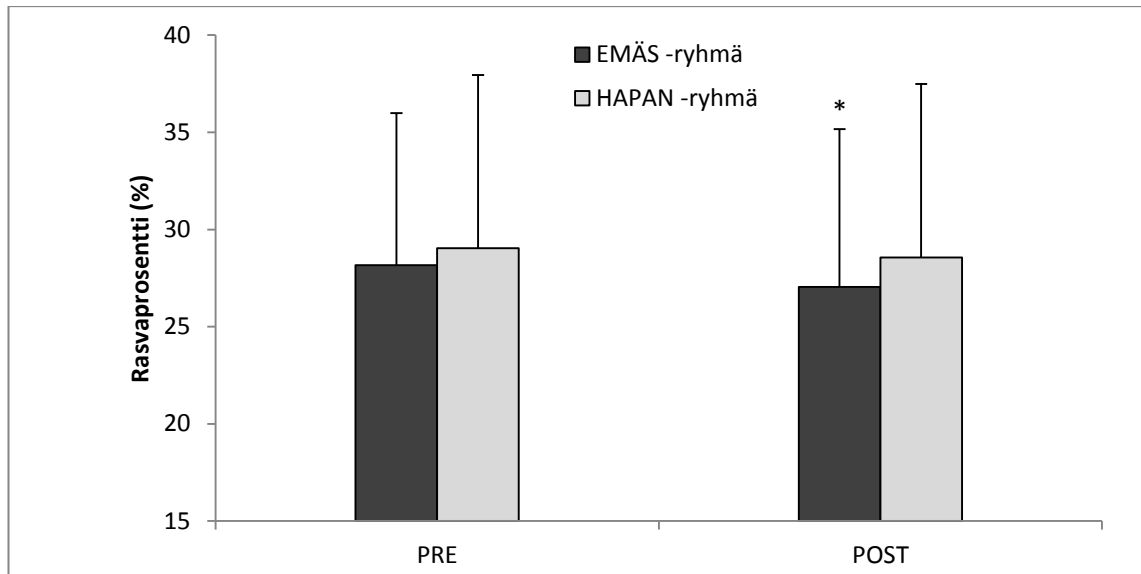
TAULUKKO 8. Veren kokonaiskolesterolipitoisuus sekä HDL- ja LDL -kolesterolien pitoisuudet paastotilassa ennen tutkimusjaksoa sekä sen jälkeen. Ei tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien tai aikapisteiden välillä.

Muuttujat		Veren kolesterolipitoisuus (mmol/l)			
		EMÄS (mies)	EMÄS (nainen)	HAPAN (mies)	HAPAN (nainen)
Kok.kol.	PRE	4,84 ± 1,17	4,58 ± 0,46	4,73 ± 0,86	4,74 ± 0,82
	POST	4,44 ± 0,93	4,38 ± 0,57	4,72 ± 0,80	4,89 ± 1,00
HDL	PRE	1,35 ± 0,38	1,75 ± 0,41	1,54 ± 0,29	1,78 ± 0,41
	POST	1,22 ± 0,36	1,79 ± 0,47	1,57 ± 0,37	1,90 ± 0,52
LDL	PRE	2,86 ± 1,22	2,44 ± 0,62	2,72 ± 0,81	2,49 ± 0,53
	POST	2,61 ± 0,66	2,22 ± 0,49	2,69 ± 0,81	2,53 ± 0,72

Rasvaprocentti. Taulukossa 9 on esitetty tutkimusryhmien rasvaprocentit ennen tutkimusjaksoa sekä sen jälkeen. Rasvaprocenteissa ei havaittu muutoksia tutkimusjakson aikana eikä ryhmien välillä ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Kun rasvaprocenttia tarkasteltiin ilman sukupuolierottelua, havaittiin EMÄS -ryhmän rasvaprocentin laske-
neen tutkimusjakson aikana 4,3 % ($28,2 \pm 7,8$ % vs. $27,0 \pm 8,1$ %, $p = 0,039$). Ryhmien rasvaprocentit ilman sukupuolierottelua on esitetty kuvassa 9.

TAULUKKO 9. Rasvaprocentti ennen tutkimusjaksoa ja sen jälkeen. Ei tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien tai aikapisteiden välillä.

		Rasvaprocentti (%)			
		EMÄS (mies)	EMÄS (nainen)	HAPAN (mies)	HAPAN (nainen)
PRE		23,9 ± 7,4	31,0 ± 7,0	25,3 ± 6,9	33,2 ± 9,3
POST		22,0 ± 7,9	30,4 ± 6,6	23,8 ± 5,9	33,8 ± 9,0



KUVA 9. Rasvaprocentti ennen tutkimusjaksoa sekä sen jälkeen (* = tilastollisesti merkitsevä ero PRE - arvoon nähden ($p < 0,05$)).

5.3 Happoemästäsapaino

Veren pH. Taulukossa 10 on esitetty veren pH:n paastoarvot ennen tutkimusjaksoa sekä sen jälkeen. Veren pH ei muuttunut tutkimusjakson aikana missään ryhmässä eikä ryhmien välillä ollut merkitseviä eroja.

TAULUKKO 10. Veren pH:n paastoarvot ennen tutkimusjaksoa ja sen jälkeen. Ei tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien tai aikapisteiden välillä.

Veren pH				
	EMÄS (mies)	EMÄS (nainen)	HAPAN (mies)	HAPAN (nainen)
PRE	7,41 ± 0,01	7,42 ± 0,03	7,41 ± 0,02	7,42 ± 0,01
POST	7,40 ± 0,03	7,41 ± 0,02	7,41 ± 0,02	7,43 ± 0,02

Virtsan pH. Taulukossa 11 on esitetty virtsan pH ennen tutkimusta, tutkimusjakson puolivälissä sekä sen jälkeen. Virtsan pH ei muuttunut merkitsevästi missään ryhmässä tutkimusjakson aikana, mutta naisilla EMÄS -ryhmän virtsan pH oli sekä tutkimusjakson puolivälissä että sen jälkeen tilastollisesti merkitsevästi HAPAN -ryhmää suurempi

(MID: $6,42 \pm 0,82$ vs. $5,54 \pm 0,80$, $p = 0,009$; POST: $6,35 \pm 0,98$ vs. $5,56 \pm 0,72$, $p = 0,02$). Miesten osalta ryhmien välillä ei ollut eroja missään mittauspisteessä.

TAULUKKO 11. Virtsan pH tutkimuksen eri vaiheissa ($^{\circ}$ = tilastollisesti merkitsevä ero HAPAN -ryhmään nähden ($p < 0,05$)).

Virtsan pH				
	EMÄS (mies)	EMÄS (nainen)	HAPAN (mies)	HAPAN (nainen)
PRE	$5,82 \pm 0,37$	$6,02 \pm 0,75$	$5,63 \pm 0,41$	$5,90 \pm 0,87$
MID	$5,55 \pm 0,58$	$6,42 \pm 0,82^{\circ}$	$6,06 \pm 0,83$	$5,54 \pm 0,80$
POST	$5,67 \pm 0,73$	$6,35 \pm 0,98^{\circ}$	$5,75 \pm 0,72$	$5,56 \pm 0,72$

6 POHDINTA

Päätulokset. Tämän tutkimuksen päätulos oli kasvispitoisen ja normaaliproteiinisen EMÄS -ruokavalion aiheuttama rasva-aineenvaihdunnan väheneminen sekä levossa että submaksimaalisessa kestävyysuorituksessa yhdistetyn 12 viikon kestävyys- ja voimaharjoittelun yhteydessä. Tämä näkyy niin veren rasvahappopitoisuudessa kuin triglyseridipitoisuudessa. Toisaalta yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu näytti lisäävän rasva-aineenvaihdunnan osuutta submaksimaalisessa kestävyysuorituksessa HAPAN -ryhmällä. Rasva-aineenvaihdunnan lisääntyminen johtuu todennäköisesti pääosin solutason muutoksista, sillä veren rasvahappopitoisuuksissa ei tapahtunut muutoksia HAPAN -ryhmällä. Virtsan pH oli tutkimusjakson jälkeen EMÄS -ryhmän naisilla suurempi kuin HAPAN -ryhmän naisilla, mikä saattoi olla yhteydessä rasva-aineenvaihdunnan vähenemiseen, koska EMÄS -ryhmän naisilla rasva-aineenvaihdunnan muutokset olivat miehiä selkeämpiä. Toinen todennäköinen rasva-aineenvaihduntaa laskenut tekijä oli ruokavalion ravintoainekoostumuksen muuttuminen ja erityisesti rasvojen saannin väheneminen.

Ravinto. Ravinnonsaannissa selkeimmät erot ryhmien välillä havaittiin kasvien ja hedelmien saannissa. Molemmilla sukupuolilla EMÄS -ryhmän ruokavalio sisälsi merkittävästi enemmän kasviksia ja hedelmiä (noin 800–1000 g kasviksia ja hedelmiä vuorokaudessa) kuin HAPAN -ryhmällä (noin 200–300 g). Naisilla tämä ero aiheutti todennäköisesti virtsan pH:ssa havaitut ryhmien väliset erot ja oli siten tärkein elimistön happoemästäsapainoon vaikuttanut tekijä. Kasvien ja hedelmien määrät jäivät kuitenkin EMÄS -ryhmällä ohjeistuksia matalammiksi ja toisaalta HAPAN -ryhmän ruokavaliossa niitä oli ohjeistuksia enemmän. Näin ollen happoemästäsapainon ja rasva-aineenvaihdunnan muutokset olisivat voineet olla selkeämpiä, jos ohjeistettua ruokavaliota olisi noudatettu paremmin. Naisten EMÄS -ryhmällä erityisesti rasvojen saanti väheni tutkimusjakson myötä, mikä saattoi osaltaan vaikuttaa rasva-aineenvaihdunnan laskuun.

Elimistön happoemästäsapaino. Kasvispitoinen ruokavalio ei vaikuttanut veren pH:hon, mikä saattaa johtua elimistön tarkoista veren pH:n säätelymekanismeista, jotka ovat elintärkeitä esimerkiksi entsyymien toiminnan kannalta (McArdle ym. 2010, 300 -

301). Toisaalta virtsan pH oli tutkimusjakson puolivälissä sekä sen jälkeen EMÄS -ryhmän naisilla HAPAN -ryhmän naisia korkeampi, eli EMÄS -ryhmän naisten virtsa oli emäksisempää. Kasvispitoinen ruokavalio oli siis todennäköisesti emäksisyyttä aiheuttavaa, mutta elimistön säätelymekanismeista johtuen ero HAPAN -ryhmään nähden havaittiin vain virtsassa.

Koska veren pH:ssa ei havaittu muutoksia tai eroja ryhmien välillä, ei happoemästasapaino todennäköisesti ollut pääasiallinen rasva-aineenvaihduntaan vaikuttanut tekijä. Happoemästasapainon ja erityisesti elimistön emäksisyyden on todettu olevan yhteydessä rasva-aineenvaihdunnan ja veren rasva-arvojen madaltumiseen (Melby ym. 1994; Greenhaff ym. 1988a; 1988b), mutta tässä tutkimuksessa EMÄS -ryhmällä havaitut rasva-aineenvaihdunnan muutokset johtuivat todennäköisemmin ruokavalion ravintoainekoostumuksesta, koska EMÄS -ryhmän rasvan saannissa oli havaittavissa laskua tutkimusjakson aikana, joskin ryhmien välillä havaittiin merkitsevä ero ainoastaan miehillä tutkimusjakson puolivälissä. Erityisesti runsaan hiilihydraattien saannin on todettu myös laskevan rasva-aineenvaihduntaa (Rowlands ja Hopkins 2002a), mikä saattoi tässäkin tutkimuksessa olla osittainen rasva-aineenvaihduntaa laskeva tekijä, kun rasvan saannin vähentyessä aiempaa suurempi osa energiasta saatiin hiilihydraateista.

Happoemästasapainon roolia EMÄS -ryhmän rasva-aineenvaihdunnan laskun selittäjänä on vaikea arvioida, koska veren pH:ssa ei tapahtunut muutoksia, mutta toisaalta virtsan pH oli tutkimusjakson jälkeen EMÄS -ryhmän naisilla suurempi kuin HAPAN -ryhmän naisilla. Kasvispitoinen ruokavalio pyrki siis muuttamaan elimistöä emäksisemmäksi, mutta puskurointijärjestelmien johdosta veren pH:hon ei kuitenkaan kyetty vaikuttamaan. Näin ollen rasva-aineenvaihdunnan lasku aiheutui todennäköisimmin ravintoainneiden saannissa tapahtuneiden muutosten johdosta. Kasvispitoisen ruokavalion ravintoainekoostumus saattoi myös vaikuttaa kasvisryhmän kehon rasvaprosentin laskuun, koska HAPAN -ryhmällä tätä muutosta ei havaittu.

Rasva-aineenvaihdunta. Tämän tutkimuksen ensimmäisinä hypoteeseina oli, että yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu lisää rasvojen oksidaation osuutta energiantuotossa ja nostaa veren lipidipitoisuuksia submaksimaalisessa suorituksessa ruokavaliosta huolimatta, mutta kuitenkin siten, että EMÄS -ryhmän kohdalla muutos olisi HAPAN -ryhmää vähäisempi. Kuten HAPAN -ryhmän osalta havaittiin, näyttää yhdistetty kestä-

vyys- ja voimaharjoittelu lisäävän rasvojen oksidaation osuutta energiantuotossa submaksimaalisessa suorituksessa ja toisaalta myös nostavan veren lipidipitoisuutta suorituksen aikana. Kasvispitoisella ruokavaliolla näyttää kuitenkin olevan merkittävä vaikutus rasva-aineenvaihduntaan, sillä hypoteesin vastaisesti EMÄS -ryhmän rasva-aineenvaihdunta osittain jopa laski submaksimaalisessa kestävyys-suorituksessa.

Oletuksena oli myös, että yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu madaltaisi veren lipidipitoisuuksia levossa kummallakin ruokavaliolla, mutta EMÄS -ryhmällä muutos olisi HAPAN -ryhmää suurempi. Hypoteesien mukaisesti EMÄS -ryhmällä veren rasvahappopitoisuus ja naisten kohdalla myös triglyseridipitoisuus laskivat, mutta toisaalta kolesteroliarvot eivät muuttuneet, vaikka trendiä pienenemisestä oli nähtävissä. HAPAN -ryhmän kohdalla taas veren triglyseridipitoisuuden havaittiin hypoteesin vastaisesti nousevan ja muissa lipidipitoisuuksissa ei havaittu eroja, eli harjoittelu ja ravinto-ohjelma eivät laskeneet veren lipidipitoisuuksia lepotilassa. Tämä saattaa johtua muun muassa harjoittelujakson pituudesta, harjoitusmäärästä tai ruokavaliosta.

Hengitysosamäärä. HAPAN -ryhmän miesten hengitysosamäärän lasku submaksimaalisessa suorituksessa (75 % VO_{2max}) kertoo rasva-aineenvaihdunnan osuuden lisääntymisestä energiantuotossa yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun myötä. Samaa ilmiötä tukee myös koko HAPAN -ryhmällä havaittu hengitysosamäärän lasku submaksimaalisessa suorituksessa 55 % VO_{2max} ja 75 % VO_{2max} tehoilla. Rasvoista ja hiilihydraateista tuotetun energian suhde siis siirtyi submaksimaalisessa suorituksessa enemmän rasvojen oksidaation suuntaan, mikä näkyi hengitysosamäärän laskuna. EMÄS -ryhmällä taas hengitysosamäärä säilyi ennallaan, eli submaksimaalisen suorituksen aikainen rasva-aineenvaihdunta ei muuttunut harjoittelujakson aikana. Kasvispainotteinen ruokavaliio siis näyttää madaltavan yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun aikaansaamaa rasva-aineenvaihdunnan lisääntymistä submaksimaalisessa suorituksessa.

Ryhmien välillä ennen tutkimusjaksoa havaittujen hengitysosamäärän erojen häviäminen tutkimusjakson myötä puoltaa edellä mainittuja johtopäätöksiä, sillä EMÄS -ryhmän naisten ja koko EMÄS -ryhmän hengitysosamäärät olivat ennen tutkimusjaksoa korkeammat kuin HAPAN -ryhmän, mutta tutkimusjakson jälkeen ryhmien arvot olivat tasavertaiset. EMÄS -ryhmällä rasvojen osuus energiantuotosta oli siis ennen tutkimus-

jaksoa suurempi kuin HAPAN -ryhmällä, mutta HAPAN -ryhmässä havaitun rasva-aineenvaihdunnan lisääntymisen myötä erot tasoittuivat.

Veren vapaiden rasvahappojen pitoisuus. Veren rasvahappopitoisuuden hyvin selkeä lasku levossa sekä submaksimaalisessa suorituksessa EMÄS -ryhmän naisilla (48,6, 52,1, 46,2 ja 32,7 %) ja koko EMÄS -ryhmällä (33,3, 43,8, 29,8 ja 21,6 %) kertoo sekin kasvispainotteisen ruokavalion rasva-aineenvaihduntaa laskevasta vaikutuksesta, sillä HAPAN -ryhmällä veren rasvahappopitoisuus säilyi muuttumattomana tutkimusjakson ajan. Yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu happamuutta tuottavan ruokavalion yhteydessä ei siis näyttänyt vaikuttavan veren rasvahappopitoisuuksiin ainakaan 12 viikon harjoittelujakson aikana. Veren rasvahappopitoisuus kertoo lipolyysin tasosta ja se vaikuttaa suuresti lihassolujen rasvojen käyttöön (Maughan & Gleeson 2004, 128), joten hengitysosamäärän perusteella havaittu rasva-aineenvaihdunnan muuttumattomuus EMÄS -ryhmällä selittyy ainakin osittain veren rasvahappopitoisuuden laskulla.

Toisaalta HAPAN -ryhmällä rasvojen oksidaatio kasvoi harjoittelujakson myötä submaksimaalisessa suorituksessa, mikä on todettu myös useissa aiemmissä tutkimuksissa (Tunstall ym. 2002; Talanian ym. 2007; Friedlander ym. 1998; Johnson ym. 2010; Sial ym. 1998), mutta veren rasvahappopitoisuudet eivät muuttuneet. Tämä viittaa tehostuneeseen rasvojen oksidaatioon lihassoluissa ja mahdollisesti myös lisääntyneeseen lihasten omien rasvavarastojen käyttöön submaksimaalisen suorituksen aikana. Myös Sial ym. (1998) päättelivät kestävyysharjoittelun tehostavan lihasten sisäisiä rasva-aineenvaihdunnan mekanismeja huomattuaan rasvojen oksidaation lisääntyvän submaksimaalisessa suorituksessa lipolyysin tason säilyessä muuttumattomana.

Veren triglyseridipitoisuus. Veren triglyseridipitoisuus laski EMÄS -ryhmän naisilla levossa 13,1 % ja submaksimaalisessa suorituksessa matalimmalla suoritusteholla (35 % VO_{2max}) 15,0 %, kun taas HAPAN -ryhmän miehillä havaittiin pitoisuuden nousu sekä levossa (21,1 %) että submaksimaalisessa suorituksessa kaikilla suoritustehoilla (19,1, 16,4 ja 20,2 %). Kun ryhmiä tarkasteltiin ilman sukupuolierottelua, havaittiin EMÄS -ryhmän veren triglyseridipitoisuuden olevan ennen tutkimusjaksoa HAPAN -ryhmää korkeampi sekä levossa että submaksimaalisessa suorituksessa, mutta tutkimusjakson myötä erot tasoittuivat. Kasvispitoinen ruokavalio näyttää siis vaikuttavan veren triglyseridipitoisuuteen samansuuntaisesti kuin veren rasvahappopitoisuuteenkin. Toi-

saalta yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu samanaikaisen happamuutta tuottavan ruokavalion kanssa näyttää nostavan veren triglyseridipitoisuutta niin levossa kuin submaksimaalisessa kestävyysuorituksessakin, kuten HAPAN -ryhmän miehillä havaitusta muutoksesta nähdään.

Tokmakidis ja Volaklis (2003) sekä Park ym. (2003) ovat saaneet tutkimuksissaan päinvastaisia tuloksia veren triglyseridipitoisuuden osalta, sillä molemmissa tutkimuksissa yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu laski veren triglyseridipitoisuutta levossa. On siis todennäköistä, että HAPAN -ryhmän miehillä havaittu triglyseridipitoisuuden nousu johtuu pääosin ruokavaliosta, eikä harjoittelusta, koska HAPAN -ryhmän ruokavaliosta esimerkiksi kasvisten saantia oli rajoitettu. Toisaalta Tokmadiksen ja Volaklisen (2003) koehenkilöt sairastivat sepelvaltimotautia ja Parkin ym. (2003) tutkimuksessa taas koehenkilöinä oli lihavia naisia, mikä on voinut myös vaikuttaa erilaisiin tuloksiin tähän tutkimukseen verrattuna. Joka tapauksessa alentuneen veren triglyseridipitoisuuden on todettu olevan terveyden kannalta hyväksi (Tokmadis & Volaklis 2003), joten näyttäisi siltä, että kasvispitoinen ruokavalio on terveyden kannalta myönteinen ainakin tässä suhteessa.

Veren kolesterolipitoisuus. Veren lipoproteiinipitoisuuksissa ja kokonaiskolesterolipitoisuudessa ei havaittu muutoksia kummallakaan ryhmällä, joten yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu ja ruokavaliot eivät vaikuttaneet kolesterolipitoisuuksiin. Kuitenkin EMÄS -ryhmällä kolesterolipitoisuuksissa oli havaittavissa selkeää, mutta ei tilastollisesti merkitsevää laskevaa trendiä, jota HAPAN -ryhmällä ei havaittu. Erityisesti LDL -pitoisuus sekä kokonaiskolesterolipitoisuus ovat yhteydessä metabolisiin sairauksiin (McArdle ym. 2010, 25), mutta niiden osalta tästä tutkimuksesta ei voida tehdä varmoja johtopäätöksiä yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun ja kasvispitoisen ruokavalion mahdollisista terveyshyödyistä.

Verney ym. (2006) ja Park ym. (2003) havaitsivat veren kokonaiskolesterolipitoisuuden sekä LDL -pitoisuuden laskevan yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun myötä, minkä johdosta harjoittelun todettiin olevan terveyden kannalta hyödyllistä. Kyseisissä tutkimuksissa koehenkilöt olivat kuitenkin iäkkäitä miehiä sekä lihavia naisia, mikä on mahdollisesti edesauttanut muutosten havaitsemista. Myös tutkimusjaksot olivat näissä tutkimuksissa tätä tutkimusta pidemmät, joten on mahdollista, että tässä tutkimuksessa

käytetty harjoittelujakso oli liian lyhyt aiheuttamaan muutoksia kolesterolipitoisuuksissa.

Rasvaprocentti. EMÄS -ryhmän rasvaprocentti laski tutkimusjakson aikana 4,3 %, kun taas HAPAN -ryhmällä ei havaittu muutosta. Rasvaprocentin lasku johtuu todennäköisesti suurelta osin energiansaannista, jossa EMÄS -ryhmällä oli kummankin sukupuolen kohdalla havaittavissa laskeva trendi, vaikkei tilastollisesti merkitseviä eroja HAPAN -ryhmään nähden havaittu. Myös miesten ryhmien välillä havaittu ero rasvojen saannissa puoltaa ruokavalion suoraa vaikutusta rasvaprocentin laskuun varsinkin, kun happoemästäsapainossa havaittiin muutoksia vain virtsan pH:n kohdalla. Myöskään harjoittelu yksistään ei todennäköisesti laskenut rasvaprocenttia, koska HAPAN -ryhmän rasvaprocentti säilyi tutkimusjaksoa edeltävällä tasolla.

Yhteenveto. Yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu näyttää lisäävään rasvojen oksidaation osuutta energiantuotosta submaksimaalisessa kestävyysuorituksessa HAPAN -ruokavaliolla, kun taas EMÄS -ruokavaliolla havaittiin olevan päinvastainen vaikutus sekä levossa että kestävyysuorituksessa. Sydän- ja verisuonisairauksien riskitekijöinä pidettyihin kolesteroliarvoihin harjoittelu ja ruokavalio eivät vaikuttaneet, vaikka trendiä laskusuunnasta oli havaittavissa EMÄS -ryhmällä. HAPAN -ryhmän miehillä veren triglyseridipitoisuuden havaittiin nousevan, kun taas harjoittelun yhteydessä EMÄS -ruokavaliota noudattaneilla naisilla triglyseridipitoisuus laski. Samoin rasvaprocentissa havaittiin lasku EMÄS -ryhmällä, joten kasvispitoista, normaaliproteiinista ruokavaliota kestävyys- ja voimaharjoittelun yhteydessä voidaan näiden muuttujien osalta pitää terveyttä edistävänä verrattuna happamaan, niin sanottuun normaaliruokavalioon.

EMÄS -ruokavalion aikaansaamat muutokset johtuivat tässä tutkimuksessa todennäköisesti pääosin ruokavalion ravintoainekoostumuksesta, joskin happoemästäsapainon vaikutuksesta kertoo havaittu ero naisten ryhmien välillä virtsan pH:ssa, mikä viittaa elimistön happokuormassa tapahtuneisiin muutoksiin. Elimistön puskurointimekanismit saivat kuitenkin pidettyä veren pH:n normaalitasollaan, vaikka EMÄS -ryhmän ruokavalio olikin emäksisyyttä lisäävä. Erityisesti runsaalla valikoitujen emästyyppeiden hiilihydraattien saannilla ja toisaalta ruokavalion vähäisellä rasvapitoisuudella lienee ollut suuri vaikutus rasva-aineenvaihdunnan ja rasvaprocentin laskussa.

EMÄS -ruokavaliolla yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun yhteydessä näyttää siis olevan joitain terveyshyötyjä rasva-aineenvaihdunnan osalta verrattuna harjoitteluun happamalla, niin sanotulla normaaliruokavaliolla. Terveyttä edistävät muutokset johtuvat suurelta osin EMÄS -ruokavalion ravintoainekoostumuksesta, koska happoemästasapaino säilyi veren pH:n osalta muuttumattomana, vaikka virtsan pH:ssa nähtiinkin odotettua nousua. Toisaalta kestävyys suorituskyvyn kannalta rasva-aineenvaihdunnan lasku ei välttämättä ole hyvä asia, sillä hiilihydraattivarastojen loppuminen on yksi mahdollisista pitkäkestoista kestävyys suorituskykyä rajoittavista tekijöistä. Näin ollen hyvin pitkäkestoisia ja kovatehoisia kestävyys suorituksia ajatellen tällainen ruokavalio ei liene sen terveyshyödyistä huolimatta paras vaihtoehto.

Tulevaisuutta ajatellen olisi hyvä tutkia, voidaanko tässä tutkimuksessa käytettyä EMÄS -ruokavaliota muokkaamalla saada aikaan laajemmin muutoksia elimistön (veri, virtsa, lihas) happoemästasapainossa ja vaaditaanko muutoksiin esimerkiksi pidempi ajanjakso. Näin olisi myös mahdollista saada enemmän tietoa siitä, millainen vaikutus happoemästasapainolla on rasva-aineenvaihduntaan ja veren rasva-arvoihin. Samoin olisi hyvä tutkia yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutuksia rasva-aineenvaihduntaan erilaisia harjoitusohjelmia käyttäen, jotta olisi mahdollista löytää optimaalisia harjoitusohjelmia.

Johtopäätökset. Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

- 1) Kolmen kuukauden yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu HAPAN -ruokavaliolla lisää rasvojen oksidaation osuutta energiantuotosta submaksimaalisessa kestävyys suorituksessa.
- 2) EMÄS -ruokavalio yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun yhteydessä laskee veren rasvahappopitoisuuksia sekä levossa että submaksimaalisessa kestävyys suorituksessa.
- 3) Kolmen kuukauden yhdistetty kestävyys- ja voimaharjoittelu EMÄS -ruokavaliolla ei vaikuta veren kokonaiskolesterolipitoisuuteen tai LDL- ja HDL -pitoisuuksiin.

4) EMÄS -ruokavalio yhdistetyn kestävyys- ja voimaharjoittelun yhteydessä ei nosta veren pH:ta, mutta on yleisesti ottaen elimistön emäksisyyttä lisäävää, mikä voidaan ainakin naisilla havaita korkeampana virtsan pH:na verrattuna hapanta, niin sanottua normaalia ruokavaliota noudattaviin henkilöihin.

7 LÄHTEET

- Achten, J., Gleeson, M. & Jeukendrup, A.E. 2002. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34 (1), 92 – 97.
- Alexy, U., Kersting, M. & Remer, T. 2007. Potential renal acid load in the diet of children and adolescents: impact of food groups, age and time trends. *Public Health Nutrition* 11 (3), 300 – 306.
- Boyd, A. E., Giamber, S.R., Moger, M. & Lebovitz, H.E. 1974. Lactate inhibition of lipolysis in exercising man. *Metabolism* 23 (6), 531 – 542.
- Calles-Escandón, J., Goran, M.I., O’Connel, M., Sreekumaran, N. & Danforth, E. 1996. Exercise increases fat oxidation at rest unrelated to changes in energy balance or lipolysis. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism* 270 (6), E1009 – E1014.
- Coggan, A.R., Raguso, C.A., Gastaldelli, A., Sidossis, L.S. & Yeckel, C.W. 2000. Fat metabolism during high-intensity exercise in endurance-trained and untrained men. *Metabolism* 49 (1), 122 – 128.
- Friedlander, A.C., Casazza, G.A., Horning, M.A., Buddinger, T.F. & Brooks, G.A. 1998. Effects of exercise intensity and training on lipid metabolism in young women. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism* 275, E853 – E863.
- Friedlander, A.C., Casazza, G.A., Horning, M.A., Usaj, A. & Brooks, G.A. 1999. Endurance training increases fatty acid turnover but not fat oxidation, in young men. *Journal of Applied Physiology* 86 (6), 2097 – 2105.
- Goto, K., Ishii, N., Mizuno, A. & Takamatsu, K. 2007a. Enhancement of fat metabolism by repeated bouts of moderate endurance exercise. *Journal of Applied Physiology* 102, 2158 – 2164.
- Goto, K., Ishii, N., Sugihara, S., Yoshioka, T. & Takamatsu, K. 2007b. Effects of resistance exercise on lipolysis during subsequent submaximal exercise. *Medicine & Science in Sports and Exercise* 39 (2), 308 – 315.
- Greenhaff, P.L., Gleeson, M. & Maughan, R.J. 1987a. The effects of dietary manipulation on blood acid-base status and the performance of high intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology* 56, 331 – 337.

- Greenhaff, P.L., Gleeson, M., Whiting, P.H. & Maughan, R.J. 1987b. Dietary composition and acid-base status: limiting factors in the performance of maximal exercise in man. *European Journal of Applied Physiology* 56, 444 – 450.
- Greenhaff, P.L., Gleeson, M. & Maughan, R.J. 1988a. The effects of diet on muscle pH and metabolism during high intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology* 57, 531 – 539.
- Greenhaff, P.L., Gleeson, M. & Maughan, R.J. 1988b. Diet-induced metabolic acidosis and the performance of high intensity exercise in man. *European Journal of Applied Physiology* 57, 583 – 590.
- Guyton, A.C. & Hall, J. E. 2000. *Textbook of medical physiology*. W.B. Saunders company, Philadelphia, Yhdysvallat.
- Johnson, M.L., Zarins, Z., Fattor, J.A., Horning, M.A., Messonnier, L., Lehman, S.L. & Brooks, G.A. 2010. Twelve weeks of endurance training increases FFA mobilization and reesterification in postmenopausal women. *Journal of Applied Physiology* 109, 1573 – 1581.
- Keskinen, K.L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2007. *Kuntotestauksen käsikirja*. Liikuntatieteellinen seura, Helsinki, Suomi.
- Magkos, F., Wright, D.C., Patterson, B.W., Mohammed, S. & Mittendorfer, B. 2006. Lipid metabolism response to a single, prolonged bout of endurance exercise in healthy young men. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism* 290, E355 – E362.
- Maughan, R. & Gleeson, M. 2004. *The biochemical basis of sports performance*. Oxford university press, New York, Yhdysvallat.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 2010. *Exercise physiology. Nutrition, energy and human performance*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, Yhdysvallat.
- Melby, C.L., Toohey, M.L. & Cebrick, J. 1994. Blood pressure and blood lipids among vegetarian, semivegetarian, and nonvegetarian African Americans. *American Journal of Clinical Nutrition* 59, 103 – 109.
- Park, S-K., Park, J-H., Kwon, Y-C., Kim, H-S., Yoon, M-S. & Park, H-T. 2003. The effect of combined aerobic and resistance exercise training on abdominal fat in obese middle-aged women. *Journal of Physiological Anthropology* 22 (3), 129 – 135.
- Poehlman, E.T., Gardner, A.W., Arciero, P.J., Goran, M.I. & Calles-Escandón, J. 1994.

- Effects of endurance training on total fat oxidation in elderly persons. *Journal of Applied physiology* 76 (6), 2281 – 2287.
- Quirion, A., Brisson, G.R., Laurencelle, L., DeCarufel, D., Audet, A., Dulac, S., Ledoux, M. & Vogelaere, P. 1988. Lactate threshold and onset of blood lactate accumulation during incremental exercise after dietary modifications. *European Journal of applied Physiology* 57, 192 – 197.
- Reddy, S.T., Wang, C-Y., Sakhaee, K., Brinkley, L. & Pak, C.Y. C. 2002. Effects of low-carbohydrate high-protein diets on acid-base balance, stone-forming propensity, and calcium metabolism. *American Journal of Kidney Diseases* 40 (2), 265 – 274.
- Remer, T. & Manz, F. 1994. Estimation of the renal net acid excretion by adults consuming diets containing variable amounts of protein. *American Journal of Clinical Nutrition* 59, 1356 – 1361.
- Remer, T. 2001. Influence of nutrition on acid-base balance – metabolic aspects. *European Journal of Nutrition* 40, 214 – 220.
- Remer, T., Dimitriou, T. & Manz, F. 2003. Dietary potential renal acid load and renal net acid excretion in healthy, free-living children and adolescents. *American Journal of Clinical Nutrition* 77, 1255 – 1260.
- Romijn, J.A., Klein, S., Coyle, E.S., Sidossis, L.S. & Wolfe, R.R. 1993. Strenuous endurance training increases lipolysis and triglyceride – fatty acid cycling at rest. *Journal of Applied Physiology* 75 (1), 108 – 113.
- Romijn, J.A., Coyle, E.F., Sidossis, L.S., Rosenblatt, J. & Wolfe, R.R. 2000. Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *Journal of Applied Physiology* 88 (5), 1707 – 1717.
- Rowlands, D.A. & Hopkins, W.G. 2002a. Effects of high-carbohydrate diets on metabolism and performance in cycling. *Metabolism* 51 (6), 678 – 690.
- Rowlands, D.A. & Hopkins, W.G. 2002b. Effect of high-fat, high-carbohydrate and high-protein meals on metabolism and performance during endurance cycling. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 12, 318 – 335.
- Sial, S., Coggan, A.R., Hickner, R.C. & Klein, S. 1998. Training-induced alterations in fat and carbohydrate metabolism during exercise in elderly subjects. *American Journal of Physiology – Endocrinology and metabolism* 274, E785 – E790.
- Stisen, A.B., Stougaard, O., Langfort, J., Helge, J.W., Sahlin, K. & Madsen, K. 2006. Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. *European*

- Journal of Applied Physiology 98 (5), 497 – 506.
- Talanian, J.L., Galloway, S.D.R., Heienhauser, G.J.F., Bonen, A. & Spriet, L.L. 2007. Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *Journal of Applied Physiology* 102 (4), 1439 – 1447.
- Tokmakidis, S.P. & Volaklis, K.A. 2003. Training and detraining effects of a combined strength and aerobic exercise program on blood lipids in patients with coronary artery disease. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation* 23, 193 – 200.
- Tunstall, R.J., Mehan, K.A., Wadley, G.D., Collier, G.R., Bonen, A., Hargreaves, M. & Cameron-Smith, D. 2002. Exercise training increases lipid metabolism gene expression in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism* 283, E66 – E72.
- Van Aggel-Leijssen, D.P.C., Saris, W.H.M., Wagenmakers, A.J.M., Senden, J.M. & Van Baak, M. A. 2002. Effect of exercise training at different intensities on fat metabolism of obese men. *Journal of Applied Physiology* 92, 1300 – 1309.
- Van Loon, L.J.C., Koopman, R., Manders, R., Van Der Weegen, W., Van Kranenburg, G.P. & Keizer, H.A. 2003. Intramyocellular lipid content in type 2 diabetes patients compared with overweight sedentary men and highly trained endurance athletes. *American Journal of Physiology – Endocrinology and Metabolism* 287 (3), E558 – E565.
- Venables, M.C., Achten, J. & Jeukendrup, A.E. 2005. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *Journal of Applied Physiology* 98 (1), 160 – 167.
- Verney, J., Kadi, F., Saafi, M.A., Piehl-Aulin, K. & Denis, C. 2006. Combined lower body endurance and upper body resistance training improves performance and health parameters in healthy active elderly. *European Journal of Applied Physiology* 97, 288 – 29.