

**RASVA-AINEENVAIHDUNTA LEVOSSA JA KUORMITUK-
SESSA LIIKUNNALLISESTI EROAVILLA IDENTTISILLÄ
KAKSOSILLA**

Kaisa Hämäläinen

Pro Gradu tutkielma

Liikuntafysiologia

Kevät 2012

Liikuntabiologian laitos

Työn ohjaajat: Heikki Kainulainen

Urho Kujala

TIIVISTELMÄ

Hämäläinen, Kaisa 2012. Rasva-aineenvaihdunta levossa ja kuormituksessa liikunnallisesti eroavilla identtisillä kaksosilla. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, 63 s.

Ihmisillä on eroja levon ja kuormituksen rasva-aineenvaihdunnassa. Heikentynyt kyky käyttää rasvoja energiaksi on yhdistetty mm. lihavuuden ja tyypin 2 diabeteksen syntyyn. Koska kaikkia rasva-aineenvaihduntaan vaikuttavia tekijöitä ei vielä tunneta, olisi kiinnostavaa tietää, mitkä tekijät todella vaikuttavat rasva-aineenvaihduntaan vai onko rasva-aineenvaihdunta perinnöllistä ja sen säätely mahdotonta. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia liikuntaharrastuksen, kehonkoostumuksen ja perintötekijöiden yhteyttä rasva-aineenvaihduntaan levossa ja liikuntasuorituksen aikana. Tätä pyrittiin selvittämään tutkimalla liikunta-aktiivisuuden suhteen eroavia terveitä, keski-ikäisiä identtisiä kaksosmiehiä ($n = 24$). Rasva-aineenvaihduntaa tutkittiin epäsuoralla kalorimetrimittauksella nousevan kuormituksen polkupyöräergometritestin ja lepoaineenvaihduntamittauksen aikana. Lisäksi tutkittiin rasva-aineenvaihdunnan yhteyksiä 12 kk liikunta-aktiivisuushaastattelun tuloksiin sekä DXA-kuvantamismenetelmällä määritettyyn kehonkoostumukseen. Tulosten mukaan henkilöt, jotka hapettivat levossa paljon rasvoja ($0,10 \pm 0,01$ vs. $0,04 \pm 0,02$ g/min, $p < 0,001$), hapettivat myös kuormituksessa paljon rasvoja ($0,41 \pm 0,16$ vs. $0,24 \pm 0,07$ g/min, $p = 0,046$) ja heidän rasvaton kehonmassansa oli suurempi (58 ± 4 vs. 52 ± 4 kg, $p = 0,041$) kuin henkilöillä, jotka käyttivät levossa ja kuormituksessa vähän rasvoja. Koska rasvaton kehon massa ja rasvojen hapettuminen levossa ja kuormituksessa ei eronnut liikunnallisesti eroavien identtisten kaksosten välillä ($p > 0,05$) ja rasva-aineenvaihdunta korreloi positiivisesti rasvattoman massan kanssa ($r = 0,750$, $p < 0,001$), voidaan päätellä, että perintötekijät määrittävät suurelta osin rasvattoman massan määrän, joka puolestaan määrittelee rasva-aineenvaihdunnan vilkkauden. Lisäksi tulokset osoittavat, että rasva-aineenvaihduntaan voidaan pyrkiä vaikuttamaan esimerkiksi kestävyysharjoittelulla, mutta vain perimän sallimissa rajoissa. Tulevaisuudessa tulisi tutkia tarkemmin, miksi perimä näyttää määrittävän niin selkeästi rasva-aineenvaihduntaa. Tätä voitaisiin tutkia mm. liikunnallisesti eroavien identtisten kaksosten lihassolujakaumien avulla, sillä lihassolujakauman voidaan olettaa vaikuttavan oleellisesti rasva-aineenvaihduntaan.

Avainsanat: *rasvan hapettuminen, fatmax-piste, liikunta-aktiivisuus, identtiset kaksoset.*

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO.....	5
2	KATSAUS RASVAHAPPOJEN HAPETTUMISEEN.....	6
	2.1 Rasvahappojen hapettuminen levossa ja kuormituksessa.....	6
	2.2 Rasvahappojen hapettumisen määrittäminen.....	8
3	RASVA-AINEENVAIHDUNTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT LEVOSSA.....	10
	3.1 Ravitsemus.....	10
	3.2 Kehonkoostumus.....	11
	3.3 Ikä.....	13
	3.4 Sukupuoli.....	14
	3.5 Kestävyysharjoittelu.....	15
4	RASVA-AINEENVAIHDUNTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT KUORMITUKSEN AIKANA.....	18
	4.1 Kuormitustapa.....	18
	4.2 Kuormituksen kesto.....	19
	4.3 Kestävyysharjoittelu.....	20
	4.4 Lihassolujakauma.....	21
	4.5 Kuormitusta edeltävä ravinto.....	22
	4.6 Ikä.....	23
	4.7 Sukupuoli.....	25
	4.8 Kehonkoostumus.....	27
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT.....	29
6	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	30
	6.1 Koehenkilöt.....	30

6.2	Mittausten kulku.....	31
6.3	Aineiston keräys.....	33
6.3.1	Maksimaalinen nousujohteinen polkupyöraergometritesti.....	33
6.3.2	Kehonkoostumus.....	33
6.3.3	Perusaineenvaihdunta.....	34
6.3.4	Liikuntahaastattelu.....	34
6.4	Analyysit.....	35
6.4.1	Maksimaalinen nousujohteinen polkupyöraergometritesti.....	35
6.4.2	Kehonkoostumus.....	36
6.4.3	Perusaineenvaihdunta.....	36
6.4.4	Liikuntahaastattelu.....	37
6.5	Tilastolliset analyysit.....	38
7	TULOKSET.....	39
7.1	Kehokoostumus ja liikunta-aktiivisuus.....	39
7.2	Rasva-aineenvaihdunta levossa ja kuormituksessa.....	41
7.3	Liikuntaharrastuksen vaikutus rasva-aineenvaihduntaan.....	42
7.4	Kehonkoostumuksen vaikutus rasva-aineenvaihduntaan.....	44
7.5	Perintötekijöiden vaikutus rasva-aineenvaihduntaan.....	46
8	POHDINTA.....	48
9	LÄHTEET.....	55
10	LIITTEET 1. Vapaa-ajan liikuntaharrastuksen taustatietokysely.....	62
	2. Liikunta-aktiivisuus haastattelulomake.....	63

1 JOHDANTO

Energia-aineenvaihdunnan tutkiminen levossa ja liikunnan aikana on tullut yhä ajankoh-
taisemmaksi aiheeksi nyky-yhteiskunnassa. Lihavuus ja aineenvaihduntaan liittyvät
sairaudet lisääntyvät ja toisaalta painonhallinta on hyvin tärkeä osa myös urheilijoiden
elämää. Heikentynyt kyky käyttää rasvoja energiaksi on yhdistetty mm. lihavuuden ja
tyypin 2 diabeteksen syntyyn (Zurlo ym. 1990). Olisi kiinnostavaa tietää, kuinka elimis-
tön rasvan määrää voidaan vähentää eli millaisia elämäntapoja tulisi noudattaa, jotta
elimistö pystyisi käyttämään rasvoja optimaalisesti energian lähteenä levossa ja kuormi-
tuksen aikana. Vai onko rasva-aineenvaihdunta perinnöllistä ja sen säätely mahdotonta?

Levossa ja liikunnan aikana rasva-aineenvaihduntaan vaikuttaa hyvin moni eri tekijä.
Liikunnan intensiteetin on jo pitkään tiedetty vaikuttavan liikunnan aikana käytettäviin
energianlähteisiin ja se onkin merkittävin rasva-aineenvaihduntaa säätelevä tekijä lii-
kunnan aikana. Energian tuotannossa hiilihydraattien ja rasvojen käyttö kasvaa liikun-
nan intensiteetin kasvaessa, mutta näistä rasvan käyttö energianlähteenä laskee tietyn
intensiteetin jälkeen. Kuormituksen intensiteettiä, jossa rasvoja käytetään eniten energi-
anlähteeksi, kutsutaankin fatmax-pisteeksi. (Jeukendrup & Achten 2001.)

Kaksosten tutkiminen on eräs tapa tutkia ja arvioida perinnöllisyyden vaikutuksia erilai-
siin tekijöihin. Eräs kaksostutkimusmalli perustuu sellaisten identtisten kaksosten tut-
kimiseen, jotka ovat erilaisia tietyn tekijän suhteen, kuten liikunta-aktiivisuuden. Tätä
tutkimusmenetelmää kutsutaan co-twin control -metodiksi, joka on hyvin tehokas malli
arvioitaessa jonkin tekijän vaikutuksia muihin tekijöihin (Bouchard ym. 1997, 66-67).
Koska identtisillä kaksosilla on sama perimä (DNA sekvenssi), tulee esimerkiksi juuri
tämän liikunta-aktiivisuuden vaikutukset erilaisiin tekijöihin luotettavammin esille kuin
tutkimalla yleisesti aktiivisia ja inaktiivisia ihmisiä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena
onkin tutkia, liikuntaharrastuksen, kehonkoostumuksen ja perintötekijöiden yhteyttä
rasva-aineenvaihduntaan levossa ja liikuntasuorituksen aikana liikunta-aktiivisuuden
suhteen eroavilla identtisillä kaksosmiehillä.

2 KATSAUS RASVAHAPPOJEN HAPETTUMISEEN

Rasva esiintyy elimistössä neljässä eri olomuodossa: rasvakudoksena, triglyserideinä lihaksissa, plasman osina sekä vapaina rasvahappoina. Myös rasvojen tehtäviä on neljä: energian lähteenä ja varastona toimiminen, tärkeiden sisäelinten suojaaminen, lämmön eristäminen ja vitamiinien kuljettaminen elimistössä. Kehon rasvaprocentti on miehillä normaalisti 15 % ja naisilla 25 %. Tästä suurin osa on sitoutuneena triglyserideinä rasvakudoksen rasvasoluihin. (Achten & Jeukendrup 2004; McArdle ym. 2007, s. 28 – 29.)

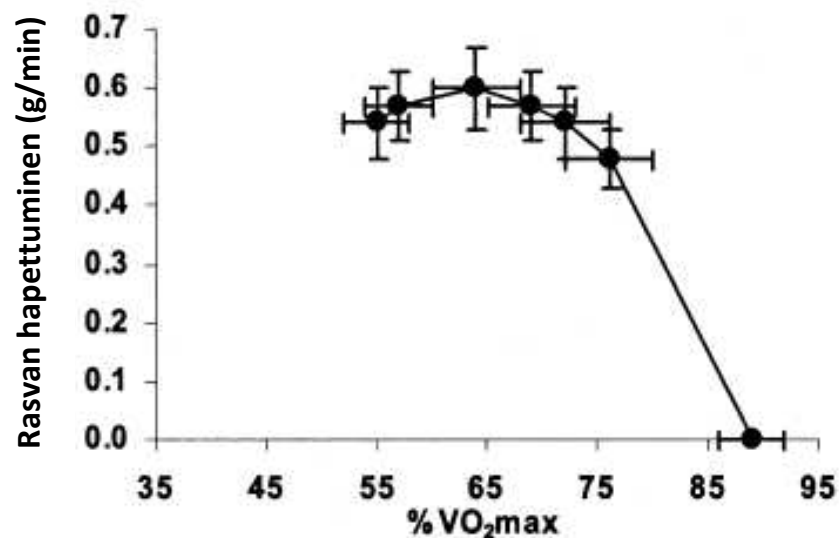
Rasvan reitti energiaksi on nelivaiheinen. Ensimmäinen vaihe on lipolyysi, jossa triglyseridit pilkotaan glyseroliksi ja vapaiksi rasvahapoiksi, jotka muutetaan edelleen koentsyymi A:ksi. Toisen vaiheen muodostaa β -oksideatio, jossa koentsyymi A muutetaan Asetyyli Co-A:ksi. Kolmannen vaiheen muodostaa sitruunahappokierto, jossa yhdistyy sekä rasva- että hiilihyaattineenvaihdunta. Sitruunahappokierron lopputuotteena syntyy hiilidioksidia ja vetyioneja, joista hiilidioksidi siirtyy pois elimistöstä hengityksen kautta ja vety-ionit jatkavat matkaansa kohti elektroninsiirtoketjua. Neljäs ja viimeinen vaihe on siis elektroninsiirtoketju, jossa vetyioneihin sitoutuneita entsyymejä siirretään elektroninsiirtäjältä toiselle. Tästä vapautunut energia on adensiinitrifosfaatin eli ATP:n muodossa, joka kuljetetaan verenkierron kautta eripuolille elimistöä energianlähteeksi. (Guyton & Hall 2001 s. 776 – 786; McArdle ym. 2007, 155 – 159,).

2.1 Rasvahappojen hapettuminen levossa ja kuormituksessa

Lepoenergiankulutus (REE = resting energy expenditure) käsittää noin 60-70 % kokonaisenergiankulutuksesta. Loput energiankulutuksesta kuluu ravinnon aiheuttamaan lämmöntuottoon (10%) ja fyysiseen aktiivisuuteen (20-30%). Levossa yli puolet energiasta valmistetaan rasvoista ja loppu energiasta tulee lähes kokonaan hiilihyaateista. Vain hyvin pieni osa levon energian valmistuksesta tapahtuu proteiineista. Energiasubstraattien hapettumista kuvaava hengitysosamäärä (RER) on levossa keskimäärin 0,82. (Melzer 2011.)

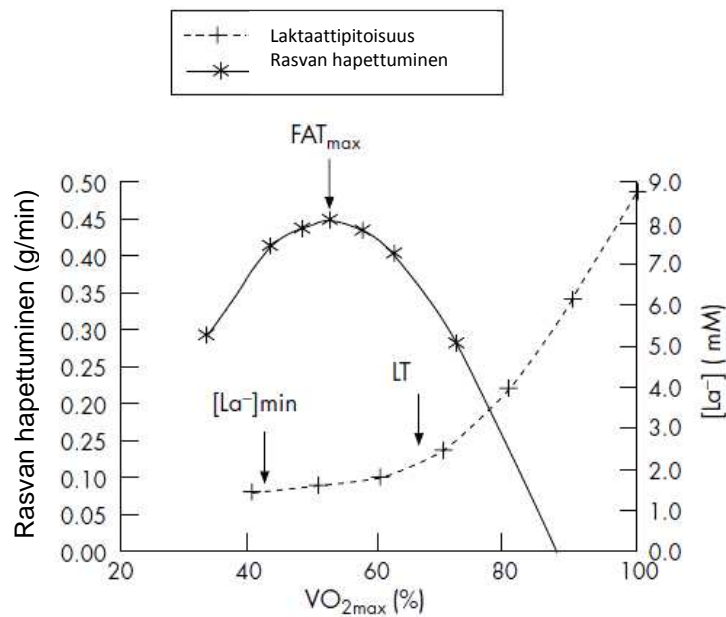
Kuormituksen aikana käytetystä energiasta 30 – 80 % tuotetaan rasva-aineenvaihdunnan avulla. Kuormituksen kasvaessa verenkierto lisääntyy rasvakudoksessa ja tämän seurauksena vapaita rasvahappoja vapautuu enemmän verenkiertoon. Tämän jälkeen rasvahapot siirtyvät lihakseen energianlähteeksi. Kevyellä ja keskiraskaalla kuormituksella rasvaa voidaan käyttää energialähteenä jopa kolme kertaa enemmän kuin lepotilassa, mutta kuormituksen kasvaessa suuremmaksi rasvahappojen vapautuminen verenkiertoon vähenee ja siirrytään käyttämään lihasten glykogeenivarastoja energianlähteenä. (Coyle ym. 1997, McArdle ym. 2001, 29.) Jeukendrup ym. (1998) tutkimuksen perusteella rasvojen käyttö energianlähteenä onkin absoluuttisesti suurinta (g/min) juuri sen intensiteetin alapuolella, missä glykolyysi alkaa merkittävästi lisääntyä. Tätä kuormituksen intensiteettiä kutsutaan maksimaaliseksi rasvan hapettumispisteeksi eli fatmax-pisteeksi.

Achten ym. (2002) etsivät intensiteettiä, jossa fatmax-piste sijaitsee. Merkittävin löydös oli, että rasvan käyttö energianlähteenä lisääntyy rasituksen ollessa 25 – 65 % maksimaalisesta hapenkulutuksesta (VO_{2max}) ja pienenee rasituksen ollessa 85 % VO_{2max} -arvosta. Fatmax-piste löytyi 64 % VO_{2max} -arvon läheisyydestä, jolloin rasvan hapettuminen oli 0.60 ± 0.07 g/min (kuva 1). Myös González-Haro ym. (2007) etsivät alueita, joissa rasvan hapettuminen kasvaa ja vähenee. Heidän tutkimuksensa perusteella rasvan hapettuminen kasvaa intensiteetin ollessa 33 – 75 % VO_{2max} -arvosta ja lähenee nollaa intensiteetillä 81 – 89 % VO_{2max} -arvosta.



KUVA 1. Rasvan hapettuminen kuormituksen intensiteetin funktiona. Mukaeltu Achten & Jeukendrup 2004.

Fatmax-pisteen yhteyttä laktaattikynnnykseen tutkivat González-Haro ym. (2007). Tutkimukseen osallistui 34 kestävyysurheilijaa, jotka suorittivat kasvavan polkupyöräergometritestin. Laktaattikynnys löytyi samalla VO_{2max} -arvolla kuin fatmax-alueen yläraja ja fatmax-alueen alaraja löytyi intensiteetillä, jolloin laktaattipitoisuus oli pienimmillään (kuva 2). Tällöin fatmax-alue, jossa rasvaa hapettui absoluuttisesti eniten, oli intensiteetillä 43.3 - 62.3 % VO_{2max} -arvosta. Tutkimuksen perusteella laktaattipitoisuuden nousu on siis yhteydessä fatmax-pisteeseen. (González-Haro ym. 2007.)



KUVA 2. Fatmax-pisteen yhteys laktaattikynnnykseen. $[La^-]_{min}$ = laktaattipitoisuus pienimmillään, LT = laktaattikynnys. (Mukaeltu González-Haro ym. 2007.)

2.2 Rasvahappojen hapettumisen määrittäminen

Koko kehon rasvankäyttöä levossa ja kuormituksessa voidaan tutkia epäsuoralla kalorimetrialla. Epäsuorassa kalorimetriassa tutkittavalle henkilölle laitetaan kasvojen eteen maski, joka kerää hengityskaasujen, tässä tapauksessa hiilidioksidin (CO_2) ja hapen (O_2), pitoisuus- ja tilavuuseroja (McArdle ym. 2001, 18 – 29). Rasituksen intensiteettiä ilmaistaan usein hapenkulutuksena (VO_2) suhteutettuna henkilön maksimaaliseen hapenotto- ja hengityskapasiteettiin (VO_{2max}). Hengityskaasujen avulla voidaankin löytää intensiteetti, jolla rasvan käyttö on absoluuttisesti suurinta. (Jeukendrup 1997.)

Jotta hengityskaasujen perusteella voidaan laskea rasvan käyttö, täytyy määrittämisessä käyttää ennalta määriteltyjä stoikiometrisiä yhtälöitä. Nämä yhtälöt on muodostettu kemiallisten tutkimusten perusteella olettaen, että reaktiossa kuluvien ja syntyvien aineiden määrien tulee olla sama. Tämä tarkoittaa sitä, että tiettyä happi- ja hiilidioksidimäärää kohden hapettuu tietty määrä rasvoja ja hiilihydraatteja. Esimerkiksi kun hiilidioksidin tuoton ja hapen kulutuksen välinen ns. hengitysosamäärä (RQ) on 0,7, energian tuotto tapahtuu rasvoista ja RQ:n ollessa 1,0, kaikki energia tuotetaan hiilihydraateista. Yhtälöissä on kuitenkin pieniä eroja, mutta erot ovat niin pieniä, etteivät ne vaikuta laskettuun rasvan hapettumiseen juuri ollenkaan. Erot yhtälöiden välillä johtuvat mm. vapaiden rasvahappoketjujen pituuksien oletuksista, sillä ihmisen ruokavaliossa esiintyy eripituisia rasvahappoketjuja. Tämän lisäksi osassa yhtälöissä on otettu mukaan proteiinien hapettuminen ja virtsan typen erityys, mutta nämä tekijät on useimmiten todettu hyvin pieniksi, jolloin ne eivät vaikuta tuloksiin. (Jeukendrup & Wallis 2005.) Taulukossa 1 onkin esitelty eri tutkimuksissa määritellyt yhtälöt ja niiden vaikutus laskettuun rasvankäyttöön.

TAULUKKO 1. Stoikiometriset yhtälöt rasvan hapettumisen määrittämiseksi hengityskaasuista. Laskettu rasvan hapettuminen perustuu hengitysosamäärään 0.9, jolloin hapenkulutus (VO_2) on 2.50 l/min ja hiilidioksidin tuotto (VCO_2) 2.25 l/min. p = proteiinien hapettuminen, n = virtsan typen erityys.

Lähde	Yhtälö	Rasvan hapettuminen (g/min)
Brouwer 1957	$1.718 \times VO_2 - 1.718 \times VCO_2 - 0.315 \times p$	0.43
Frayn 1983	$1.67 \times VO_2 - 1.67 \times VCO_2 - 1.92 \times n$	0.42
Ferrannini 1988	$1.67 \times VO_2 - 1.67 \times VCO_2 - 1.92 \times n$	0.42
Péronnet & Massicotte 1991	$1.695 \times VO_2 - 1.701 \times VCO_2$	0.41
Jeukendrup & Wallis 2005	$1.695 \times VO_2 - 1.701 \times VCO_2 - 1.77 \times n$	0.41

3 RASVA-AINEENVAIHDUNTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT LEVOSSA

Levon rasva-aineenvaihduntaan vaikuttaa hyvin moni eri tekijä, eikä kaikkia tekijöitä vielä tunneta tarkasti. Seuraavaksi on esitelty ravitsemuksen, kehonkoostumuksen, iän, sukupuolen ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia levon aikana tapahtuvaan rasva-aineenvaihduntaan.

3.1 Ravitsemus

Ravitsemus vaikuttaa hyvin voimakkaasti rasva-aineenvaihduntaan levossa. Paastotilassa rasva on pääasiallinen energianlähde, mutta erilaisten energiasubstraattien saatavuus energian tuottoon määrittää sen, missä suhteessa rasvoja, hiilihydraatteja ja proteiineja käytetään energian lähteeksi. Seuraavassa on esitelty, kuinka korkea rasvapitoinen, hiilihydraattipitoinen tai proteiinipitoinen ruokavalio vaikuttaa rasva-aineenvaihduntaan levossa.

Korkea hiilihydraattipitoinen ruoka tai juoma stimuloi hiilihydraattien hapettumista ja edistää glukoosin varastointia glykokeeniksi (Jequier 1994). Se myös nostaa veren insuliinipitoisuutta ja hidastaa rasvahappojen vapautumista rasvakudoksesta (Sidossis ym. 1996). Acheson ym. (1998) tutkivat korkean hiilihydraattipitoisen ruokavalion vaikutusta energiasubstraattien hapettumiseen ja varastoitumiseen. Koehenkilöt noudattivat seitsemän päivän ajan ruokavaliota, joka sisälsi 77 % hiilihydraattia, 5 % rasvaa ja 18 % proteiinia. Jo yhden päivän hiilihydraattipitoinen ruokavalio kasvatti huomattavasti hiilihydraattien hapettumista ja samalla pienensi rasvojen hapettumisen lähes olemattomaksi. Hiilihydraattien muuttumista rasvaksi eli lipogeneesiä ei ollut havaittavissa kuin vasta seitsemän päivän jälkeen, jolloin noin puolet nautituista hiilihydraateista hapettui energiaksi ja puolet muuttui varastorasvaksi. (Acheson ym. 1998.)

Kun korkea hiilihydraattipitoinen ruokavalio stimuloi hiilihydraattien hapettumista, korkea rasvapitoinen ruokavalio ei stimuloi rasvan hapettumista. Tähän tulokseen on päätynyt Schutz ym. (1989) tutkimalla normaaliin ruokavalioon lisätyn rasvan vaiku-

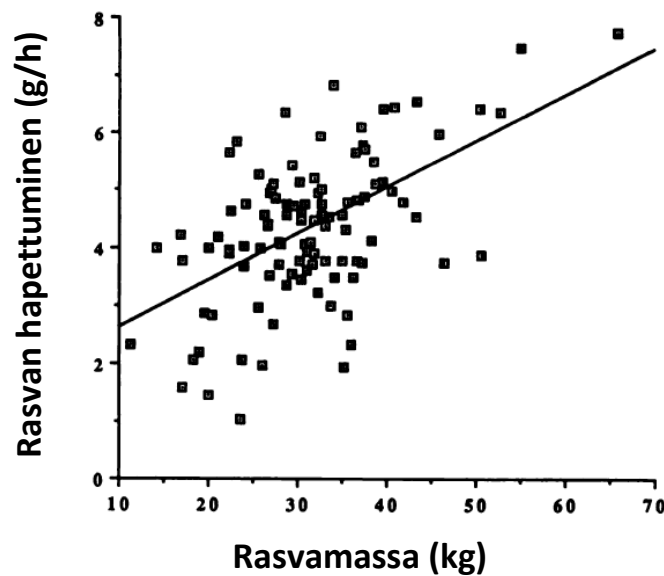
tuksia energiasubstraattien hapettumiseen. Heidän tutkimuksessaan koehenkilöt nauttivat ensimmäisen päivän ajan normaalia sekaravintoa, joka sisälsi 50 % hiilihydraattia, 35 % rasvaa ja 15 % proteiinia. Seuraavina kahtena päivänä tämän normaalin ruokavalion lisäksi nautittiin 106 g rasvaa/päivä. Tulosten mukaan rasvojen hapettuminen energiaksi ei kasvanut merkittävästi alkutilanteesta (1032 ± 205 kcal/vrk) lopputilanteeseen (1042 ± 205 kcal/vrk). Tästä voidaan päätellä, että suuren rasvamäärän nauttiminen ei vaikuta akuutisti rasvan hapettumiseen toisin kuin hiilihydraattien nauttiminen vaikuttaa hiilihydraattien hapettumiseen. Tämä osoittaa myös sen, että epätasapaino nautitun ja energiaksi hapetetun rasvan välillä syntyy helposti.

Batterham ym. (2008) tutkivat korkeaproteiinipitoisen ruokavalion vaikutusta substraattien hapettumiseen ylipainoisilla miehillä. Osa koehenkilöistä noudatti normaalia ruokavaliota (14 % proteiinia, 29 % rasvaa ja 58 % hiilihydraattia) ja osa proteiinirikasta ruokavaliota (35 % proteiinia, 30 % rasvaa ja 35 % hiilihydraattia). Tulosten mukaan rasvojen hapettuminen on 4,7 % pienempää ja hiilihydraattien hapettuminen 3 % suurempaa proteiinipitoisen ruoan jälkeen kuin normaalin ruoan jälkeen. Tarkastelemalla kehonkoostumuksen yhteyttä proteiinipitoisen ruoan aiheuttamiin vaikutuksiin energiasubstraattien hapettumisessa, havaittiin kuitenkin proteiinipitoisen ruokavalion poistavan rasvamassan aiheuttaman heikentyneen kyvyn hapettaa rasvoja energiaksi. Toisin sanoen normaaliruoan nauttineiden henkilöiden rasvojen hapettuminen oli sitä pienempää mitä suurempi rasvamassa henkilöllä oli, mutta proteiinirikkaan ruokavalion nauttineiden henkilöiden rasvojen hapettumiseen ei vaikuttanut kehon rasvamassan määrällä millään tavalla. Tästä voidaan päätellä, että proteiinipitoinen ruokavalio voi poistaa kehon rasvamassan aiheuttaman kyvyttömyyden hyödyntää rasvoja energiaksi ylipainoisilla henkilöillä.

3.2 Kehonkoostumus

Kuten edellisessä kappaleessa tuli ilmi, kehonkoostumus vaikuttaa rasvaaineenvaihduntaan levossa monella tavalla. On paljon todisteita siitä, että lihavuus heikentää rasvojen hapettumista. Tätä on selitetty mm. sillä, että rasvahappoja siirtyy rasvakudoksesta vähemmän verenkiertoon ja lihasten kyky hapettaa rasvoja on heikenty-

nyt. (Blaak & Saris 2002.) Rasvamassan ja rasvaprosentin vaikutusta rasvojen hapettumiseen levossa on tutkittu paljon, mutta tulokset ovat keskenään ristiriitaisia. Schutz ym. (1992) on tutkinut rasva-aineenvaihduntaa levossa suuren (n=106) poikkileikkaus-tutkimuksen avulla. Kuten kuvasta 3 näkee, rasvan hapettuminen levossa korreloi kehon rasvamassan kanssa ($r=0,56$, $p<0,001$). Tulosten mukaan jokaista 10 kg rasvamassaa kohden rasvojen hapettuminen kasvaa 20 g/vrk. Myös Astrup ym. (1994) löysi positiivisen korrelaation rasvamassan ja 24 tunnin rasvojen hapettumisen väliltä ($r=0,31$, $p<0,01$) tutkiessa 38 ylipainoista ja 35 normaalipainoista naista.



KUVA 3. Rasvamassan ja rasvojen hapettumisen levossa välinen yhteys eriasteisissa lihavuudentiloissa 106 naisella. (Mukaeltu Schutz ym. 1992.)

Calles-Escandón ym. (1995) päätyivät kuitenkin vastakkaiseen tuloksetn tutkiessaan rasvojen hapettumista levossa 18-73 -vuotiailla naisilla (n=30). Tulosten mukaan rasvamassa ei korreloinut rasvan hapettumisen kanssa ($r=0,264$, $p=0,136$). Rasvattoman massan ja rasvojen hapettumisen väliltä löytyi kuitenkin merkittävä korrelaatio ($r=0,693$, $p<0,0001$). Heidän tulokset osoittivatkin, että rasvaton massa on paras yksittäinen muuttuja ennustamaan levon rasvojen hapettumista. Myöskään Nagy ym. (1996) eivät löytäneet rasvamassan ja rasvojen hapettumisen väliltä yhteyttä tutkimalla rasva-aineenvaihduntaa levossa 720 terveellä koehenkilöllä.

Kehon massan muutosten on lisäksi löydetty vaikuttavan rasva-aineenvaihduntaan. Larson ym. (1995) tutkivat rasva-aineenvaihduntaa henkilöillä, jotka ovat aiemmin ol-

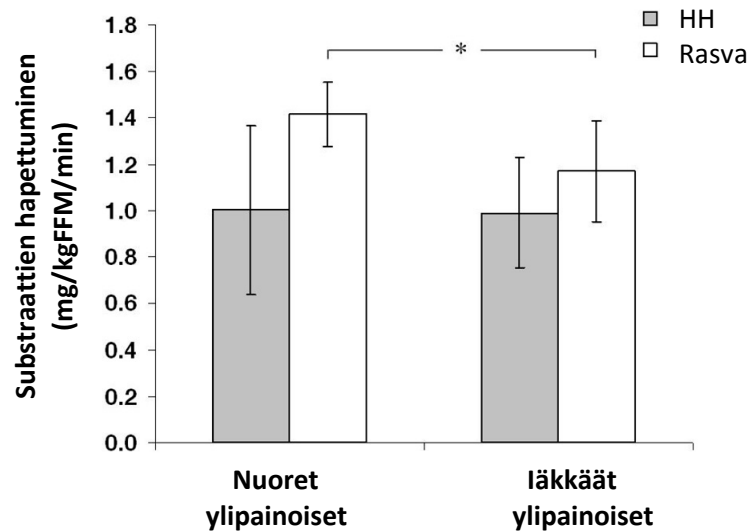
leet lihavia ja vähentäneet kehon massan normaaliksi (-57 ± 38 kg) sekä henkilöillä, jotka ovat pitäneet kehon massan lähes muuttumattomana. Kehon massan vähentäneen ryhmän ($n=11$) kokoamisen jälkeen valittiin heidän kehonkoostumustaan, ikää, sukupuolta ja energiankulutusta vastaavat henkilöt 110 henkilön joukosta, joiden massa ei ollut muuttunut. Kehon massan vähentäneet koehenkilöt olivat ylläpitäneet massansa vähintään 2 kk. Tulosten mukaan 24 tunnin RQ oli merkittävästi korkeampi aiemmin lihavalla ryhmällä kuin kehon massan muuttumattomana pitäneellä ryhmällä ($0,883 \pm 0,026$ vs. $0,863 \pm 0,024$, $p<0,01$). Vastaava ero havaittiin myös unen aikana 10 tunnin paaston jälkeen ($0,894 \pm 0,063$ vs. $0,845 \pm 0,055$, $p<0,01$). Tulosten perusteella voidaan sanoa, että aiemmin lihavalla ihmisellä kyky hapettaa rasvoja energiaksi on heikentynyt ja rasvan varastointi suurempaa, joka voi vaikeuttaa vähennetyn painon ylläpitämistä. Myö Faraj ym. (2001) päätyivät samaan johtopäätöksen tutkiessaan isotooppimenetelmällä rasva-aineenvaihduntaa aiemmin lihavilla naisilla 2-3 vuotta mahalaukunohitusleikkauksen jälkeen sekä vertaamalla heidän rasva-aineenvaihduntaa kontrolliryhmään.

3.3 Ikä

Horber ym. (1997) tutkivat iän vaikutusta energia-aineenvaihduntaan levossa 60 naisella ja 59 miehellä, joiden ikä vaihteli 50 ikävuoden molemmin puolin. Tulosten mukaan proteiinien ja hiilihydraattien hapettuminen oli yhtä suurta kaiken ikäisillä. Rasvojen hapettuminen laski iän mukaan ($r=0,36$, $p<0,01$) miehillä, mutta ei naisilla. Koska rasvaton massa laski miehillä ikääntymisen mukaan ($r = 0,57$, $p< 0,001$), mutta naisilla pysyi muuttumattomana, tutkijat päättelivät, että ikääntyminen vaikuttaa eri tavalla naisten ja miesten kehonkoostumukseen ja täten myös energia-aineenvaihduntaan.

Calles-Escandón ym. (1995) löysivät negatiivisen korrelaation iän ja rasvojen hapettumisen väliltä ($r=0,412$, $p=0,017$) tutkiessaan rasvojen hapettumista levossa 18 – 73 vuotiailla naisilla ($n=30$). Koska rasvaton kehonmassa korreloi positiivisesti rasvojen hapettumisen kanssa, tutkijat päättelivät, että iän tuomat muutokset johtuvat muutoksista rasvattomassa kehonmassassa, ei niinkään ikääntymisen tai kuntotason heikentymisen johdosta.

Solomon ym. (2008) tutkivat substraattien hapettumista levossa nuorilla (35 ± 4 v) ja iäkkäillä (60 ± 4 v) ylipainoisilla miehillä ja naisilla ($n=20$), joiden paastoglukoositoleranssi oli normaali. Kuten kuvasta 4 näkyy, iäkkäät hapettivat rasvoja 22 % vähemmän kuin nuoret ($1,17 \pm 0,22$ vs. $1,42 \pm 0,14$ mg/kg rasvaton massa (FFM)/min, $p=0,03$). Iän ja rasvojen hapettumisen väliltä löytyikin merkittävä negatiivinen korrelaatio ($r=-0,61$, $p=0,003$). Hiilihydraattien tai proteiinien hapettuminen ei eronnut ryhmien välillä.



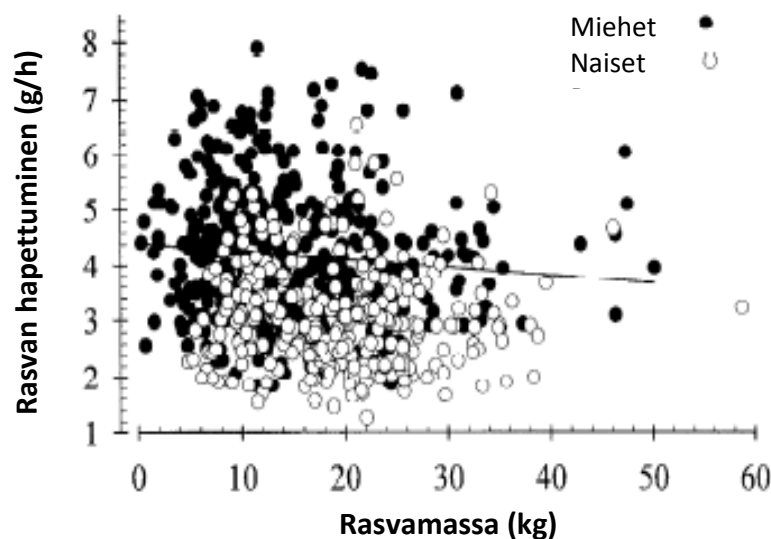
KUVA 4. Rasvan ja hiilihydraatin hapettuminen (mg/kg fat-free mass (FFM)/min) levossa nuorilla (35 ± 4 v) ja iäkkäillä (60 ± 4 v) ylipainoisilla miehillä ja naisilla ($n=20$). * $p < 0,05$. (Mukaeltu Solomon ym. 2008.)

3.4 Sukupuoli

Kuten on aiemmin viitattu, rasvojen hapettuminen on erilaista levossa miehillä ja naisilla. Useimmiten erot liittyvät kehonkoostumuksen eroihin, mutta tutkimukset tällä alueella ovat vielä kesken. Tutkimusten mukaan levon rasva-aineenvaihdunta korreloi positiivisesti rasvasolujen koon kanssa (Blaak 2001) ja naisten on arveltu käyttävän enemmän rasvoja levossa, koska heillä on yleensä suuremmat rasvavarastot kuin miehillä. Kuitenkin tutkimuksissa on havaittu, että rasvojen hapettuminen levossa on itse asiassa pienempää naisilla kuin miehillä, vaikka rasvojen hapettuminen olisi suhteutettu kehon rasvattomaan painoon (Nagy ym. 1996, Toth ym. 1998). Vaikka mekanismit tämän ta-

kana ovat vielä epäselvät, tulokset osoittavat että, naisten miehiä matalampi rasva-aineenvaihdunta levossa voi osaltaan lisätä rasvan varastoitumista kehoon.

Myös Nagy ym. (1996) tutkivat naisten ja miesten välisiä eroja rasva-aineenvaihdunnassa 427 miehellä ja 293 naisella. Tulosten mukaan miehet hapettivat rasvoja merkittävästi enemmän kuin naiset ($4,20 \pm 1,20$ vs. $3,06 \pm 0,91$ g/h, $p < 0,001$) ja vaikka tulos suhteutettaisiin rasvattomaan kehon massaan ($3,85 \pm 0,06$ vs. $3,56 \pm 0,08$ g/FFM/h, $p < 0,05$). Tutkijat päättelivätkin, että naiset käyttävät 6,9 g vähemmän rasvoja päivässä, kun rasvan hapettuminen on suhteutettu rasvattomaan kehonmassaan. Tämä vastaa 260 kJ/vrk eroa lepoenergiankulutuksessa, joka on hyvin lähellä mitattua eroa (210 kJ/vrk). He päättelivätkin, että miesten ja naisten välinen ero energiankulutuksesta johtuu naisten pienemmästä rasvojen hapettumisesta, sillä hiilihydraattien ja proteiinien hapettumisessa ei löytynyt eroja ($p > 0,05$) sukupuolten väliltä.



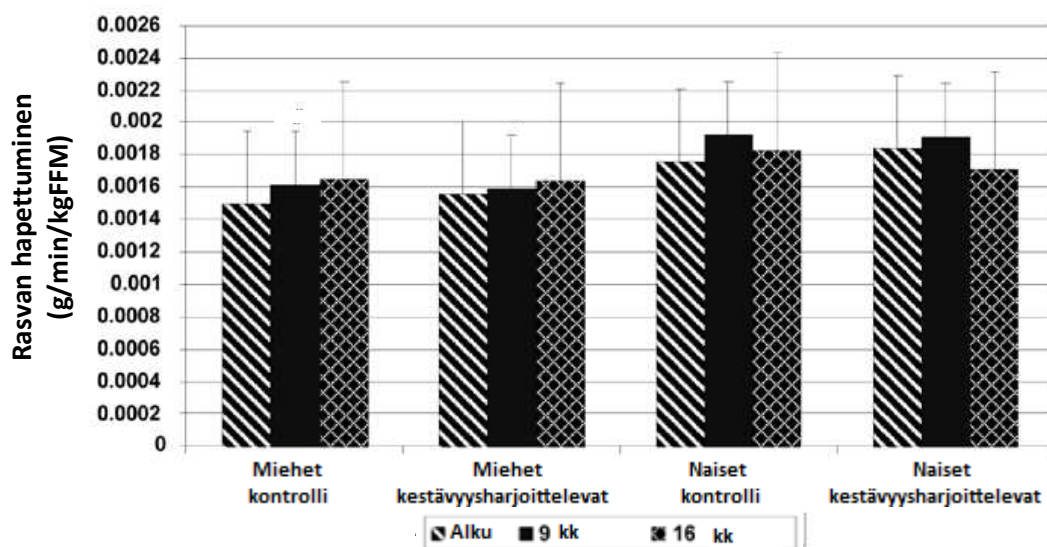
KUVA 5. Rasvan hapettuminen levossa miehillä (n=427) ja naisilla (n=293) rasvamassan funktiona. (Mukaeltu Nagy ym. 1996.)

3.5 Kestävyysharjoittelu

Kestävyysharjoittelun ja fyysisen aktiivisuuden on osoitettu kiihdyttävän aiheenvaihduntaa ja vähentävän insuliiniresistenssiä, mitkä edesauttavat rasvojen hapettumista

(Jeukendrup & Wallis 2005). Näyttöjä siitä, että kestävyysharjoittelu lisäisi rasvojen hapettumista levossa, on kuitenkin hyvin vähän.

Potteiger ym. (2008) tutkivat, muuttuuko rasvojen ja hiilihydraattien hapettuminen levossa 16 kuukauden kestävyysharjoittelujakson aikana. Koehenkilöt jaettiin kestävyysharjoittelevaan (3 – 5 kert/vko, 20 – 45 min/krt, 60 – 75 % HRmax) ryhmään (n=41) ja kontrolliryhmään (n=33). Mittaukset suoritettiin alussa, 9 kk kuluttua ja lopussa. Kuten kuvasta 6 näkyy, rasvan hapettuminen ei muuttunut harjoittelun myötä. Myöskään hiilihydraattien hapettumisessa ei löytynyt merkittävää eroa.



KUVA 6. Rasvan hapettuminen miehillä ja naisilla 16 kk pituisen seurantajakson aikana. (Muokattu Potteiger ym. 2008.)

Vastakkaisia tuloksia saivat Calles-Escandón ym. (1996) tutkiessaan kestävyysharjoittelun vaikutuksia energia-aineenvaihduntaan levossa. Koehenkilöt jaettiin harjoitteleviin ja kontrolliryhmään. Harjoitteleva ryhmä polki polkupyöräergometriä 10 päivän ajan niin kauan kunnes kunakin päivänä oli 50 % päivittäisestä energiankulutuksesta käytetty liikunnan aikana (1288 ± 323 kcal/vrk). Lepomittaukset tehtiin ennen harjoittelua ja harjoittelun jälkeen, jolloin viimeisestä harjoituksesta oli vähintään 12 tuntia aikaa. Tulosten mukaan harjoittelu lisäsi rasvojen hapetusta ($23 \pm 1,5$ mg/min) ja vähensi hiilihydraattien hapetusta ($-46 \pm 5,4$ mg/min) levossa merkittävästi ($p < 0,05$), mutta proteiinien hapettuminen ei muuttunut ($6 \text{ mg} \pm 5,1 \text{ mg/min}$). Nämä muutokset tapahtuivat ilman, että lipolyysissä eli rasvojen hajoamisessa oli tapahtunut mitään muutoksia.

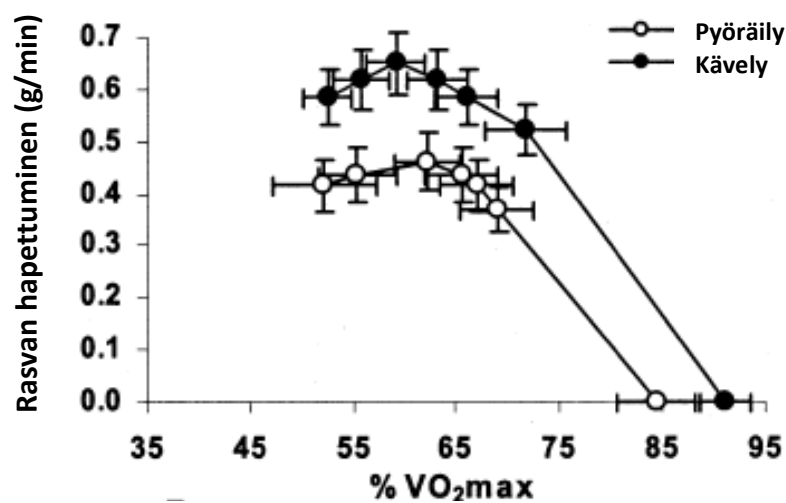
Goedecke ym. (2000) pyrkivät löytämään syytä siihen, miksi kestävyysharjoitelleet henkilöt hapettavat rasvoja levossa enemmän kuin harjoittelemattomat, tutkimalla energia-aineenvaihduntaa kestävyysharjoitelleilla pyöräilijöillä (n=61). Tulosten mukaan levon hengitysosamäärä, joka kuvastaa energia-aineenvaihduntaa, korreloi positiivisesti hitaiden (ST = slow twitch), oksidatiivisten, lihassolujen osuuden kanssa ($r=0,53$, $p<0,001$) ja negatiivisesti nopeiden (FT = fast twitch), glykolyyttisten, lihassolujen osuuden kanssa ($r=-0,46$, $p<0,001$). Tämä tarkoittaa sitä, että henkilöt, joilla oli enemmän ST lihassoluja, käyttivät levossa enemmän rasvoja energianlähteenä. Tulosten mukaan ST lihassolujen osuus määrääkin hyvin suurelta osin levon hengitysosamäärää eli substraattien hapettumista. Koska kestävyysharjoittelun on havaittu vaikuttavan erityisesti oksidatiivisiin lihassoluihin, voi niiden suhteellisen osuuden kasvaminen ollakin merkittävä syy siihen, miksi kestävyysharjoitelleet henkilöt hapettavat enemmän rasvoja levossa.

4 RASVA-AINEENVAIHDUNTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT KUORMITUKSEN AIKANA

Myös kuormituksen aikana rasvan hapettumispisteeseen vaikuttaa samanaikaisesti useita eri tekijöitä. Seuraavissa kappaleissa on kerrottu rasvan hapettumiseen kuormituksen aikana vaikuttavista tekijöistä, jotka ovat tämänhetkisen tiedon mukaan kuormitustapa, kuormituksen kesto, kestävyysharjoittelu, lihassolujakauma, kuormitusta edeltävä ravinto, ikä, sukupuoli sekä kehon koostumus.

4.1 Kuormitustapa

Useiden tutkimusten perusteella rasitettavan lihassmassan määrän uskotaan vaikuttavan VO_{2max} -arvoon ja fatmax-pisteeseen (Achten & Jeukendrup 2004). Achten ym. (2003) tutkivat samalla intensiteetillä suoritettua juoksumatto- ja kuntopyöräkuormituksen vaikutusta fatmax-pisteeseen. Kuten kuvasta 7 voi havaita, tutkimuksen tuloksena kävelyn aikana maksimaalinen rasvan hapettuminen oli suurempaa kuin pyöräilyn (0,65 vs. 0,47 g/min). Vastaavan tuloksen saivat myös Knechtle ym. (2004) vertaamalla pyöräilyä ja juoksua sekä naisilla että miehillä.



KUVA 7. Rasvan hapettuminen kuormituksen intensiteetin funktiona kävely- ja pyöräilytestin aikana. Mukaeltu Achten ym. 2003.

Knechtle ym. (2004) tutkivat myös käsiergometri- ja polkupyöräergometritestin vaikutusta maksimaaliseen rasvanhapettumiseen. Tulosten perusteella käsiergometrillä kuormitettaessa fatmax-piste löytyi 55 %:ssa VO_{2max} -arvosta ja polkupyöräergometrillä kuormittaessa fatmax-piste sijaitsi 75 %:ssa VO_{2max} -arvosta. Voidaan siis sanoa, että kuormitettavan lihasmassan määrä vaikuttaa fatmax-pisteeseen.

Kang ym. (2009) tutkivat yhdistetyn voima ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia rasva-aineenvaihduntaan 11 miehellä ja 21 naisella. Koehenkilöt suorittivat kolme erillistä harjoituskertaa, jotka olivat 1) kestävyysharjoittelu, 2) kestävyysharjoittelu, jota edelsi korkean intensiteetin lihaskuntoharjoittelu, ja 3) kestävyysharjoittelu, jota edelsi matalan intensiteetin lihaskuntoharjoittelu. Tulosten mukaan rasvojen hapettuminen on suurempaa ($p < 0,05$) kestävyysharjoittelun aikana, kun suoritetaan korkean intensiteetin lihaskuntoharjoittelu ennen kestävyysharjoittelua, verrattuna tilanteeseen, jossa suoritetaan pelkkä kestävyysharjoitus tai matalatehoinen lihaskuntoharjoitus yhdistettynä kestävyysharjoitukseen. Hiilihydraattien hapettumisessa ei löydetty merkittäviä eroja näiden kolmen liikuntakerran väliltä.

4.2 Kuormituksen kesto

Boyadjievin (2004) review-artikkelissa on esitelty tutkimuksia kuormituksen keston vaikutuksesta rasvan hapettumiseen. Tutkimuksissa on havaittu, että kuormituksen kestäessä tunnin tai pitempään, rasvaa aletaan käyttää energianlähteenä yhä enemmän. Tämä johtuu siitä, että lihasten glykogeenivarastot alkavat pienentyä ja väsymystä alkaa ilmaantua, kun suoritus on kestänyt yli tunnin rasitustason ollessa 60 – 80 % VO_{2max} -arvosta.

Kuormituksen pituuden vaikutusta fatmax-pisteeseen on tutkinut Meyer ym. (2007). Tutkimuksessa tehtiin viisi tunnin mittaista testiä vakio intensiteetillä. Tulosten perusteella rasvankäyttö energianlähteenä lisääntyi suorituksen keston pidentyessä. Tästä voidaan päätellä, että lyhyen kasvavalla kuormituksella tehdyn testin tulos ei kuvasta rasvan hapettumista pitkään jatkuneessa kuormituksessa.

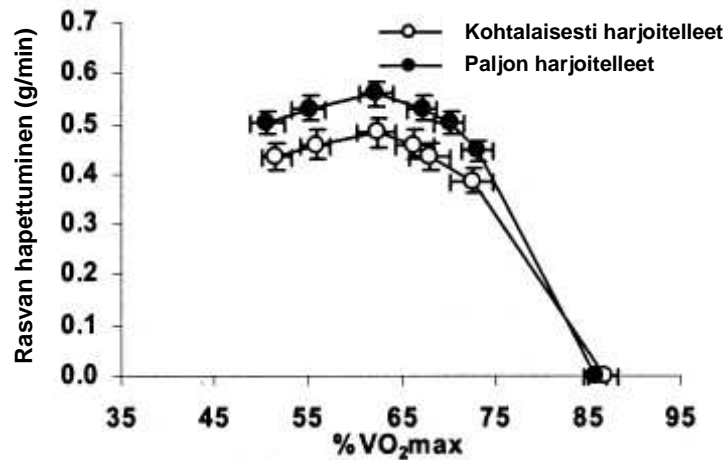
Useiden tutkimusten mukaan rasvojen käyttö energianlähteenä lisääntyy kuormituksen keston myötä, mutta toisaalta on havaittu, että myös intervalliharjoittelulla on rasva-aineenvaihdunnan kannalta suotuisat tulokset. Terada ym. (2004) tutkivatkin korkeatehoisen intervalliharjoittelun vaikutusta rasvahappojen hapettumiseen rotilla ja havaitsivat, että yhteensä 4 minuuttia 40 sekuntia kestäneillä intervalliharjoitteilla (14 x 20 s, 10 s tauko) oli sama vaikutus rasvahappojen hapettumiseen liittyvien entsyymien määrään, kuin 6 tuntia kestäväillä matalatehoisilla harjoitteilla. Tutkimustulos rottien intervalliharjoittelun tehokkuudesta ei ole suoraan tietenkään siirrettävissä ihmisille, mutta vaikuttaisi siltä, että intervalliharjoittelu on ajallisesti huomattavasti tehokkaampaa. Kuormituksen keskimääräinen intensiteetti vaikuttaakin avainasemassa rasvojen käyttöön energianlähteenä. (Terada ym. 2004.)

4.3 Kestävyysharjoittelu

Useissa tutkimuksissa on todistettu kestävyysharjoittelun lisäävän rasvan käyttöä energianlähteenä. Tämä johtuu kestävyysharjoittelun tuomista muutoksista rakenteellisissa ja aineenvaihdunnallisissa tekijöissä. Lihaksen verenkierto paranee parantuneen hius-suonituksen ansiosta ja tällöin myös veren mukana kulkevien aineiden kuljetus lihakseen paranee. Osaltaan rasvahappojen pääsyyn lihassolun sisälle vaikuttaa myös kestävyysharjoittelun aiheuttama rasvojen kuljettajaproteiinien määrän kasvu solukalvolla. Lisäksi harjoittelun tuloksena entsyymiaktiivisuus ja mitokondrioiden määrä lisääntyvät. (Hawley ym. 1998; Boyadjiev 2004; Achten & Jeukendrup 2004; Stisen ym. 2006.)

Achten ja Jeukendrup (2003b) tutkivat rasvankäyttöä energianlähteenä kohtalaisesti ($\text{VO}_{2\text{max}} = 58 \text{ ml/kg/min}$) ja paljon harjoitelleilla ($\text{VO}_{2\text{max}} = 72 \text{ ml/kg/min}$) ryhmillä kuormituksen aikana. Rasvan hapettuminen oli kohtalaisesti harjoitelleella ryhmällä ($0,48 \pm 0,15 \text{ g/min}$) pienempää kuin paljon harjoitelleella ($0,56 \pm 0,14 \text{ g/min}$) ryhmällä (kuva 8). Vastaavia tuloksia saivat myös Stisen ym. (2006) tutkiessaan kestävyysharjoitteluiden ja harjoittelemattomien naisten rasvankäyttöä energianlähteenä. Tulosten perusteella kestävyysharjoitelleilla rasvan hapettamiskyky oli 20 – 30 % parempi keskiraskailla ja raskailla kuormituksilla. Eri tutkimusten perusteella voidaankin sanoa, että

lisääntynyt rasvojen käyttö energiaksi on yhteydessä hyvään kestävyyskuntoon ja suorituskykyyn.



KUVA 8. Rasvan hapettuminen kuormituksen intensiteetin funktiona kohtalaisesti harjoitelleilla ja paljon harjoitelleilla ryhmillä. (Mukaeltu Achten & Jeukendrup 2003b.)

4.4 Lihassolujakauma

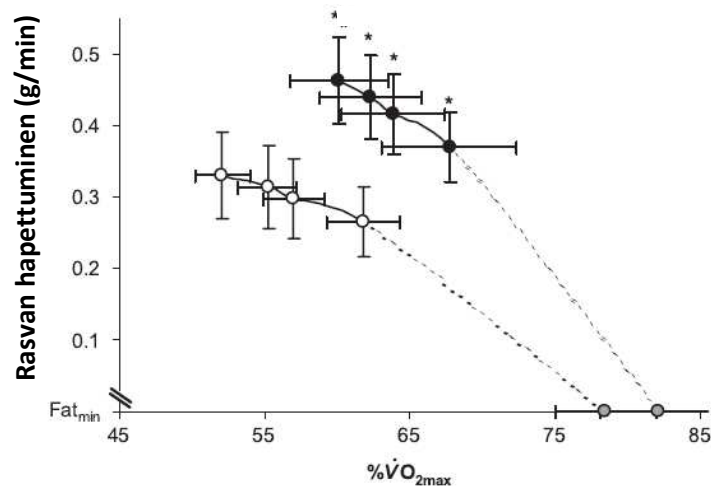
On olemassa kahdentyyppisiä lihassoluja: hitaasti (ST) ja nopeasti (FT) supistuvia soluja. ST-soluilla maksimaalisen supistuksen aikaansaamiseksi kestää keskimäärin 110 ms ja FT-soluilla 50 ms. FT-solut ovat jaettu FTa-tyyppin ja FTb-tyyppin lihassoluihin. FTa-solut toimivat parhaiten muutamia minuutteja kestävässä suorituksissa ja FTb-solut suorituksen keston ollessa muutamia sekunteja. (Jeukendrup 1997, 36 – 38; Wilmore & Costill 1994, 34 – 36.)

Turpeinen ym. (2006) tutkivat lihassolutyypin vaikutusta rasvan käyttöön energianlähteenä. Tutkimukseen osallistui 70 keski-ikäistä miestä, joiden lihassolujakauma määritettiin lihasbiopsiasta. Lihassolujakaumaa verrattiin rasvojen käyttöön kuormituksen aikana. Tuloksista havaittiin, että henkilöt, joilla oli enemmän ST-lihassoluja, käyttivät rasvaa energiaksi kuormituksen aikana paljon enemmän. Tulosta voidaan selittää kudosopillisten tutkimusten löydösten avulla. Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että ST-lihassolut sisältävät enemmän lihakseen varastoitunutta rasvaa kuin FT-lihassolut. ST-soluilla on myös suurempi kyky aerobiseen energiantuottoon, sillä niiden läheisyydessä

on paljon hiussuonia ja rasva-aineenvaihdunnalle tärkeitä entsyymejä. Tämän takia myös rasvan käyttö energiaksi kuormituksen aikana on suurempaa henkilöillä, joilla on paljon ST-lihassoluja. (Jeukendrup 1997, 36 – 38; Wilmore ja Costill 1994, 34 – 36.)

4.5 Kuormitusta edeltävä ravinto

Achten ja Jeukendrup (2003a) tutkivat ennen kuormitusta otetun hiilihydraattiannoksen vaikutusta rasvan hapettumisen määrään sekä fatmax-pisteeseen. Nousevan kuormituksen testiin osallistui yksitoista kohtuullisesti harjoitellutta henkilöä, joista osa nautti 45 minuuttia ennen suoritusta juoman, joka sisälsi 75 g hiilihydraattia ja toiset nauttivat juoman, jossa ei ollut ollenkaan hiilihydraattia. Tulosten perusteella ennen suoritusta nautitun hiilihydraattiannoksen seurauksena rasvan hapettaminen energiaksi vähenee 28 %, sillä ryhmällä, joka ei ollut nauttinut hiilihydraattiannosta, rasvan hapettuminen oli $0,46 \pm 0,06$ g/min ja hiilihydraattiannoksen nauttineella ryhmällä rasvaa hapettui $0,33 \pm 0,06$ g/min (kuva 9). Lisäksi hiilihydraattiannoksen nauttinut ryhmä saavutti fatmax-pisteen 14 % pienemmällä intensiteetillä ($52,0 \pm 3,4$ % $\dot{V}O_{2max}$ -arvosta) kuin ryhmä, joka ei nauttinut hiilihydraattiannosta ($60,1 \pm 1,9$ % $\dot{V}O_{2max}$ -arvosta). (Achten & Jeukendrup 2003a.)



KUVA 9. Rasvan hapettuminen hiilihydraattiannoksen nauttineella ryhmällä (○) ja ryhmällä, joka nautti hiilihydraatittoman juoman (●). * $p < 0,01$. (Mukaeltu Achten & Jeukendrup 2003a.)

Myös Coyle ym. (1997) ovat tutkineet kuormituksen aikaista rasva-aineenvaihduntaa. He antoivat koehenkilöille suuren määrän hiilihydraattia ennen suoritusta, jonka seurauksena pitkäketjuisia rasvahappoja hapetettiin vähemmän verensokerin ollessa korkealla. Tästä pääteltiin, että glykolyysin lisääntyminen vähentää rasvojen käyttöä energianlähteenä.

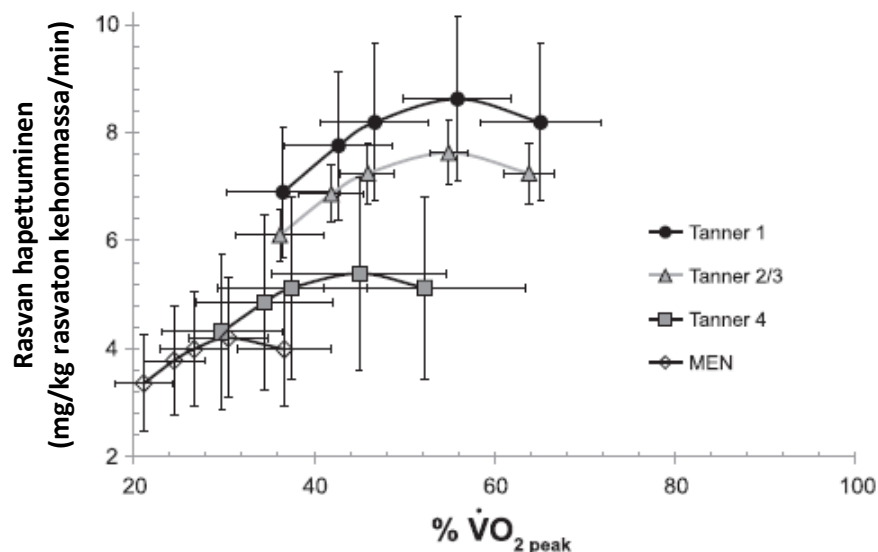
Myös pitkäaikaisen rasvapitoisen dieetin on todettu kehittävän kehon kykyä käyttää rasvaa energianlähteenä (Jeukendrup & Achten 2004). Esimerkiksi Stepto ym. (2002) tutkimuksen perusteella jo kolmen päivän ajan nautittu ruokavalio, joka sisälsi rasvaa 65 %, lisäsi rasvan käyttöä energianlähteenä huomattavasti päivittäin harjoitelleilla pyöräilijöillä. Rasvojen käyttö olikin jopa kaksinkertainen runsaasti rasvoja nauttineella ryhmällä (61 $\mu\text{mol/kg/min}$) verrattuna hiilihydraattipainotteista ruokavaliota noudattaneeseen ryhmään (31 $\mu\text{mol/kg/min}$).

Ennen urheilusuoritusta nautitun kofeiinin vaikutusta suorituksessa käytettäviin energianlähteisiin on myös tutkittu useissa tutkimuksissa. Pisman ym. (1995) tutkimuksen perusteella kofeiinin nauttiminen ennen harjoitusta lisää glyserolin määrää verenkierrössä sekä kasvattaa rasvan käyttöä energianlähteenä. Jacobson ym. (2001) saivat kuitenkin vastakkaisen tuloksen. Heidän tutkimuksensa perusteella kofeiinin nauttimisella ennen suoritusta ei ollut merkitystä energia-aineenvaihduntaan.

4.6 Ikä

Iän vaikutusta maksimaaliseen rasvan hapettumisen määrään ja kuormituksen intensiteettiin, jossa tämä saavutetaan, on tutkittu hyvin vähän. On kuitenkin havaittu, että kyky käyttää rasvoja energian lähteenä heikkenee iän myötä (Solomon ym. 2008; Melanson ym. 1997). Tutkimuksissa on useimmiten verrattu lasten ja murrosikäisten kykyä käyttää rasvoja energiana suorituksen aikana aikuisiin. Puolestaan iäkkäämmillä ihmisillä on todettu rasvamassan määrän olevan suurempi kuin aikuisuudessa (Solomon ym. 2008), mutta iäkkäiden kykyä käyttää rasvoja suorituksen aikana on tiedettävästi tutkittu ainoastaan Sial ym. (1996).

Riddell ym. (2008) tutkivat maksimaalisen rasvanhapettumispisteen muutoksia teini-iässä. Tutkimukseen osallistui viisi poikaa ja yhdeksän miestä. Pojat olivat tutkimuksen aloitushetkellä 11 – 12 -vuotiaita ja miehet 20 – 26-vuotiaita. Rasvojen käyttöä energi-
anlähteenä seurattiin pojilla läpi teini-iän. Maksimaalinen rasvanhapettumispiste määritettiin nousevan kuormituksen polkupyöräergometritestin avulla, joka suoritettiin uupumukseen saakka. Tulosten mukaan maksimaalinen rasvan hapettuminen oli jopa yli kaksinkertaista pojilla verrattuna miehiin (8,6 vs. 4,2 mg/rasvaton kehonmassa/min). Seuraamalla poikien rasvan hapettumista läpi teini-iän, huomattiin maksimaalisen rasvan hapettumisen laskevan lähes aikuisten miesten tasolle (kuva 10). Suorituksen intensiteetti, jossa maksimaalinen rasvan hapettuminen saavutettiin, oli korkeampi pojilla (56 % $\dot{V}O_{2max}$) kuin miehillä (31 % $\dot{V}O_{2max}$). Myös tämä näytti laskevan teini-iän myötä. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että maksimaalinen rasvan hapettuminen ja intensiteetti, jossa tämä saavutetaan, on huomattavasti suurempi pojilla kuin miehillä ja rasvojen käyttö muuttuukin huomattavasti juuri teini-iän aikana.



KUVA 10. Rasvan hapettuminen suhteessa kuormituksen intensiteettiin teini-iän alusta aikuisuuteen. Tanner 1 kuvaa teini-iän alkua, Tanner 2/3 samoja poikia vuoden kuluttua ja Tanner 4 viimeistä testivuotta. (Mukaeltu Riddell ym. 2008.)

Sial ym. (1996) tutkivat eroa iäkkäämpien ja nuorempien aikuisten rasvojen ja hiilihydraattien käyttö kuormituksen aikana. Tutkimukseen osallistui kuusi iäkkäämpää henkilöä (73 ± 2 v) ja kuusi nuorta aikuista (26 ± 2 v), jotka suorittivat 60 minuutin polkupyörä-ergometri testin. Koko testin ajan, iäkkäämmillä oli intensiteettinä 56 %

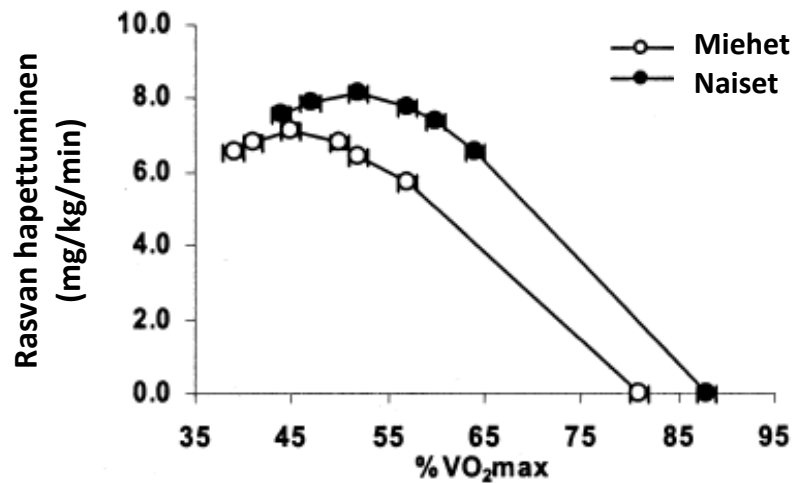
VO_{2max}:sta ja nuoremmat suorittivat kaksi eri kuormitusta sekä suhteellisesti että absoluuttisesti samalla intensiteetillä kuin iäkkäät. Ryhmät olivat yhteneviä sukupuolija-kauman ja rasvattoman massan suhteen. Tulosten perusteella iäkkäämmät käyttivät suorituksen aikana 25 – 35 % vähemmän rasvoja sekä samalla absoluuttisella että suhteellisella intensiteetillä. Vastaavasti iäkkäämmät henkilöt käyttivät 35 % enemmän hiilihydraatteja samalla absoluuttisella intensiteetillä, mutta 40 % vähemmän hiilihydraatteja samalla suhteellisella intensiteetillä. Vapaiden rasvahappojen määrä veressä oli iäkkäimmillä jopa 85 % suurempi samalla absoluuttisella intensiteetillä, mutta 35 % pienempi suhteellisella intensiteetillä. Johtopäätöksenä voidaan sanoa, että rasvojen käyttö laskee ja hiilihydraattien käyttö lisääntyy ikääntymisen myötä, mutta rasvojen käyttöä iäkkäillä ei rajoita rasvojen pilkkomiskyky vaan luurankolihasen heikentynyt hapettamiskyky. (Sial ym. 1996.)

4.7 Sukupuoli

Kuten edellisessä kappaleessa esitetyistä Perez-Martin ym. (2001) tuloksista ilmeni, rasvojen käytössä on eroja miesten ja naisten välillä. Samaan tulokseen päätyivät myös Venables ym. (2005) tutkiessaan epäsuoran kalorimetrian avulla sukupuolen vaikutusta fatmax-pisteeseen. Suuren otannan (n = 300) tutkimuksessa saatiin tulokseksi, että maksimaalinen rasvankäyttö energianlähteenä oli naisilla suurempaa kuin miehillä ($8,18 \pm 0,13$ vs. $7,14 \pm 0,16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}$). Myös suhteellinen osuus rasvankäytössä koko energiankulutuksesta oli miehillä huomattavasti pienempi. Lisäksi, kuten kuvasta 11 voidaan havaita, naiset saavuttivat fatmax-pisteen korkeammalla suorituksen intensiteetillä kuin miehet (52 ± 1 % vs. 45 ± 1 % VO_{2max}-arvosta).

Myös Knechtle ym. (2004) tutkivat sukupuolen vaikutusta fatmax-kuormaan. Tämän tutkimuksen perusteella naisilla fatmax-piste saavutetaan suuremmalla intensiteetillä kuin miehillä. Kang ym. (2007) tutkivat kuormituksen intensiteetin (40 %, 50 %, 60 % ja 70 % VO_{2max}) vaikutusta rasvan hapettumiseen naisilla ja miehillä. Tuloksista huomattiin, että intensiteetillä 40 % VO_{2max} rasvan hapettaminen oli naisilla suurempaa

kuin miehillä, mutta tätä suuremmilla intensiteeteillä eroja naisten ja miesten välillä ei ilmennyt.



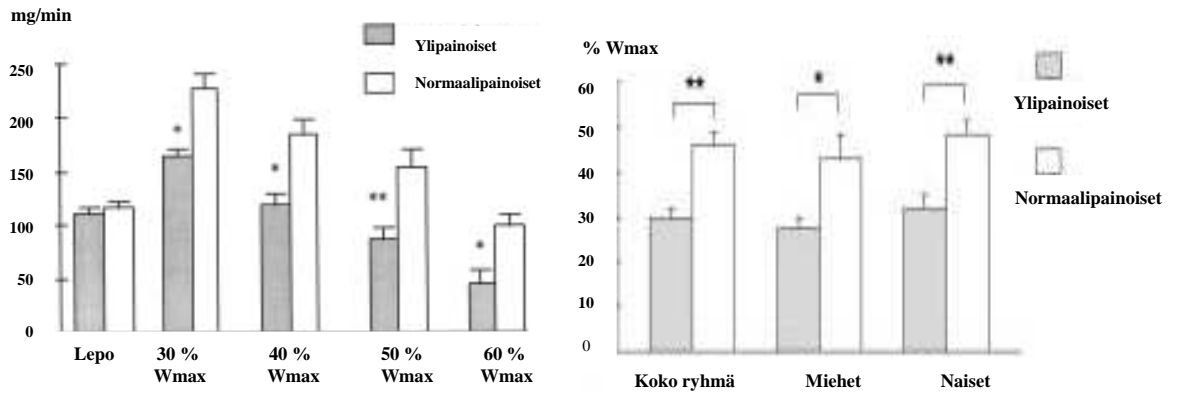
KUVA 11. Rasvan hapettuminen kuormituksen intensiteetin funktiona naisilla ja miehillä. (Achten & Jeukendrup 2004).

Vastakkaisia tuloksia saivat Bogdanis ym. (2008) tutkiessaan sukupuolen vaikutusta maksimaaliseen rasvanhapettumispisteeseen. Tutkimukseen osallistui 46 tervettä, vähän liikkuvaa sekä ylipainoista miestä ja naista. Maksimaalista rasvan hapettumista mitattiin epäsuoran kalorimetrian avulla nousevan kuormituksen kävelytestin aikana. Tuloksena saatiin, että maksimaalinen rasvankäyttö energianlähteenä oli miehillä (0.31 ± 0.02 g/min) suurempaa kuin naisilla (0.20 ± 0.02 g/min). Myös suorituksen intensiteetti, jolloin rasvaa hapettui absoluuttisesti eniten, oli miehillä (40.1 ± 1.8 % VO_{2max} -arvosta sekä 60.0 ± 1.4 % HR_{max} -arvosta) korkeampi kuin naisilla (39.5 ± 2.3 % VO_{2max} -arvosta sekä 57.8 ± 1.4 % HR_{max} -arvosta). Kävelynopeus, jossa fatmax-piste sijaitsee, oli miehillä 5.5 ± 0.2 km/h ja naisilla 5.0 ± 0.1 km/h. Tutkimuksen päätulos olikin, että maksimaalinen rasvanhapettumispiste sijaitsee sekä miehillä että naisilla noin 40 % VO_{2max} -arvosta, mutta miehillä rasvan hapettuminen on noin 50 % suurempaa. Huomattiin myös, että kävelynopeus, jossa fatmax-piste sijaitsee, oli sama kuin koehenkilön itse määrittämä kävelynopeus. Täten tämä tutkimus osoitti, että koehenkilön itse valitsema nopeus ei ole ainoastaan mukava vaan on myös tehokkain rasva-aineenvaihdunnan kannalta. (Bogdanis ym. 2008.)

4.8 Kehonkoostumus

Myös kehonkoostumuksen vaikutusta fatmax-pisteeseen on tutkittu hyvin vähän, sillä tutkimuksiin osallistuva koehenkilöjoukko on ollut useimmiten joko lihavia tai laihoja. Kuitenkin Zunquin ym. (2009) ovat vertailleet lihaviiden ja laihojen puberteetti-ikäisten lasten rasvojen käyttöä nousevan kuormituksen polkupyöräergometritestin aikana. Tulosten perusteella hyvin matalalla intensiteetillä (0 – 30 % VO_{2max} -arvosta) rasvojen hapettuminen suhteessa rasvattomaan massaan on samanlaista lihavilla ja laihoilla lapsilla. Kuormituksen kasvaessa intensiteeteille 40 – 60 % VO_{2max} -arvosta, kyky käyttää rasvoja on huomattavasti parempi laihoilla kuin lihavilla lapsilla. Tulokset vahvistavatkin, että lihavilla puberteetti-ikäisillä lapsilla rasvattoman kehonmassan kyky käyttää rasvaa on heikentynyt keskiraskailla intensiteeteillä ja heidän tulisivatkin harjoitella matalammilla intensiteeteillä kuin laihojen lasten parantaakseen rasvojen käyttöä ja sen seurauksena vähentääkseen ylipainoa.

Perez-Martin ym. (2001) vertailivat rasvojen ja hiilihydraattien hapettamista kuormituksen eri intensiteeteillä puolestaan ylipainoisten ja normaalipainoisten aikuisten välillä. Tutkimukseen osallistui 32 ylipainoista ($BMI 30,8 \pm 0,8 \text{ kg/m}^2$) ja 26 normaalipainoista ($BMI 23 \pm 0,4 \text{ kg/m}^2$) tervettä miestä ja naista. Energiasubstraattien käyttöä tutkittiin hengityskaasujen avulla nousevan kuormituksen testin aikana, joka koostui neljästä 6 minuutin pituisesta submaksimaalisista kuormista. Tulosten mukaan rasvojen käyttö levossa ei eronnut ylipainoisten ja normaalipainoisten kesken, mutta kuormituksen aikana ylipainoiset käyttivät rasvoja energianlähteenä huomattavasti vähemmän (kuva 12). Ero pysyi merkittävänä myös silloin, kun rasvojen käyttö suhteutettiin rasvattomaan kehonmassaan. Myös kuormituksen intensiteetti, jossa maksimaalinen rasvanhapettuminen saavutettiin, oli ylipainoisilla huomattavasti matalampi kuin normaalipainoisilla. Ylipainoisten fatmax-piste olikin 30 % maksimikuormasta ja normaalipainoisilla 51 % maksimikuormasta. Tämän lisäksi tulokset osoittivat, että fatmax-piste sijaitsi sekä ylipainoisilla että normaalipainoisilla naisilla korkeammilla intensiteeteillä kuin miehillä.



KUVA 12. Vasemman puoleinen kuvaaja kuvaa maksimaalista rasvan hapettumista levossa ja kuormituksen aikana sekä ylipainoisilla että normaalipainoisilla ihmisillä. Oikean puoleinen kuvaaja osoittaa puolestaan erot fatmax-pisteessä miesten ja naisten välillä. * $p < 0,05$, ** $p < 0,001$. (Mukaeltu Perez-Martin ym. 2001.)

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia liikuntaharrastuksen, kehonkoostumuksen ja perintötekijöiden yhteyttä rasva-aineenvaihduntaan levossa ja liikuntasuorituksen aikana. Tätä pyrittiin selvittämään tutkimalla liikunta-aktiivisuuden suhteen eroavia identtisiä kaksosmiehiä.

Tutkimusongelmat:

1. Onko levon rasva-aineenvaihdunnan ja kuormituksen aikana tapahtuvan rasva-aineenvaihdunnan välillä yhteyksiä?
2. Onko rasva-aineenvaihdunta riippuvainen henkilön
 - a) kuntotasosta?
 - b) kehonkoostumuksesta?
 - c) perimästä?

Hypoteesit:

1. Kyllä. Oletuksena on, että henkilöt, jotka käyttävät levossa paljon rasvoja, käyttävät myös kuormituksessa paljon rasvoja ja päinvastoin. (Rosenkilde ym. 2010.)
- 2a. Kyllä. Aiempien tutkimusten mukaan erityisesti kestävyysharjoittelu parantaa rasva-aineenvaihduntaa sekä levossa että kuormituksessa. Calles-Escandón ym. 1996, Achten & Jeukendrup 2003b, Jeukendrup & Wallis 2005, Stisen ym. 2006.)
- 2b. Kyllä. Aiemmat tutkimustulokset ovat ristiriitaisia kehonkoostumuksen vaikutuksista rasva-aineenvaihduntaan, mutta erityisesti lihasmassan oletetaan korreloivan positiivisesti rasva-aineenvaihdunnan kanssa. (Calles-Escandón ym. 1995, Perez-Martin ym. 2001, Blaak & Saris 2002.)
- 2c. Kyllä. Aiempia tutkimuksia perimän vaikutuksista rasva-aineenvaihduntaan ei ole, mutta perimän on osoitettu vaikuttavan mm. kehonkoostumukseen ja tämän perusteella perimän oletetaan vaikuttavan myös rasva-aineenvaihduntaan. (Leskinen ym. 2009, Leskinen ym. 2010.)

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimus suoritettiin Jyväskylän yliopiston liikunta- ja terveystieteiden laboratoriossa syksyllä 2011 ja keväällä 2012. Mittaukset toteutettiin osana suurempaa tutkimusta (FITFATTWIN), jossa oli tarkoituksena selvittää liikuntaharrastuksen ja perintötekijöiden yhteyttä kehonkoostumukseen, aineenvaihduntaan, sydän- ja verenkiertoelimistön terveyteen, lihaksiston kuntoon ja neuropsykologisiin tekijöihin.

6.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistuneet koehenkilöt olivat vapaaehtoisia ja terveitä 32 - 37 - vuotiaita identtisiä kaksosmiehiä. Koehenkilöt oli valittu aiempien kyselytutkimusten ja puhelinhaastattelujen avulla saatujen liikunnanharrastus- ja terveystietojen perusteella FinnTwin16 kaksoskohorttiin kuuluvista henkilöistä. Liikunnanharrastus määritettiin laajasti useiden kysymysten perusteella, mutta varsinaisiin sisäänottokriteereihin liittyvät kysymykset liikunnan osalta ovat liitteessä 1. Tutkimukseen osallistuneiden koehenkilöiden tuli täyttää seuraavat sisäänottokriteerit:

- Syntynyt vuosina 1974 - 1979
- Mieskaksospari
- Monozygoottipari

JA

Liikunta:

- 1) Kaksosten välillä ero liikuntafrekvenssissä
 - Aktiivinen kaksonen liikuntafrekvenssi $\geq 2-3$ krt/vko
(liite 1, kysymys 1, vastaukset 5-7)
 - Inaktiivinen kaksonen liikuntafrekvenssi $\leq 1-2$ krt/kk
(liite 1, kysymys 1, vastaukset 1-3)

TAI

- 2) Kaksosten välillä ero liikuntaintensiteetissä sekä frekvenssissä tai kestossa

- Aktiivinen kaksonen liikuntaintensiteetti kevyt juoksu/reipas juoksu (liite 1, kysymys 2, vastaukset 3-4) ja liikuntafrekvenssi $\geq 2-3$ krt/vko (liite 1, kysymys 1, vastaukset 5-7)
- Inaktiivinen kaksonen liikuntaintensiteetti kävely/kävelyn ja juoksun vuorotte- lu (liite 1, kysymys 2, vastaukset 1-2) ja liikuntafrekvenssi / liikunnan kesto korkeintaan sama kuin aktiivisella ja joko liikuntafrekvenssi tai liikunnan kesto matalampi kuin aktiivisella (liite 1, kysymykset 1 ja 3)

JA

Terveys:

- Koehenkilöllä ei ole liikuntakykyyn vaikuttavaa kroonista sairautta (astma ja allergia eivät ole poissulkukriteerejä).
- Koehenkilö ei sairasta sokeritautia tai lääkitystä vaativaa verenpainetautia eikä hänellä ole korkea kolesteroli tai sepelvaltimotautia.
- Hänellä ei ole todettu olevan mielenterveysongelmia, syömishäiriötä tai sisä- elinten sairauksia.

Mikäli kaksosparin molemmat kaksoset täyttivät edellä mainitut kriteerit, kutsuttiin hei- dät tutkimuksiin. Lopulta tutkimuksiin osallistui 12 identtistä mieskaksosparia (n=24), joista seitsemän parin kaksoset erosivat toisistaan liikunnan frekvenssissä (kriteeri 1) ja viiden parin kaksoset liikunnan intensiteetissä (kriteeri 2). Kaikkien koehenkilöiden tiedot on ilmoitettu taulukossa 2. Ennen tutkimusta heille selvitettiin tutkimuksen tar- koitus ja kulku sekä suoritettavat toimenpiteet kansankielisenä, jonka jälkeen he allekir- joittivat suostumuslomakkeen. Tutkimukseen oli saatu Keski-Suomen sairaanhoitopiirin eettisen toimikunnan hyväksyntä.

6.2 Mittausten kulku

Tutkimukset tehtiin kahtena peräkkäisenä mittauspäivänä. Tutkittavia oli pyydetty vält- tämään alkoholin käyttöä kaksi vuorokautta ennen tutkimuksia ja noudattamaan nor- maalia ruokavaliota. Kaksi tuntia ennen tutkimuksiin saapumista tuli olla syömättä, juomatta kahvia ja tupakoimatta. Tutkimuksia edeltävänä päivänä sekä ensimmäisen tutkimuspäivän aikana tuli välttää lisäksi raskasta liikuntaa.

Kun tutkittava saapui mittauksiin ensimmäisenä mittauspäivänä, mitattiin hänen pituus ja paino, jonka jälkeen hänelle tehtiin leposydänsähkökäyrä-mittaus. Tämän jälkeen oli lääkärintarkastus ennen fyysisesti rasittavien tutkimusten aloittamista. Tutkimuksia ei suoritettu kuumeiselle, flunssaiselle eikä jonkin sairauden välittömässä toipilasvaiheessa olevalle henkilölle. Tutkimuksia ei myöskään suoritettu, jos koehenkilöllä on esiintynyt viimeisen kahden viikon aikana hammassärkyä, poistettu hammas tai hän oli luovuttanut verta.

Mikäli lääkärintarkastuksessa ei ilmennyt mitään poikkeavaa, seuraavaksi koehenkilö suoritti maksimaalisen nousujohteisen polkupyöräergometritestin. Ennen testin alkua, koehenkilö totutteli mittalaitteisiin ja hänelle selvitettiin testin kulku. Koehenkilöä muistutettiin lisäksi hänen oikeudestaan lopettaa testi milloin tahansa. Varsinainen testi alkoi 20 W kuormalla, joka nousi kahden minuutin kuluttua 5 W. Näiden kahden ensimmäisen lämmittelykuorman jälkeen alkoi varsinainen testi 50 W kuormalla, joka nousi kahden minuutin välein aina 25 W. Testiä jatkettiin niin kauan, kunnes tutkittava halusi lopettaa, hänen subjektiivinen tuntemuksensa (RPE) oli 20 tai hengitysosamäärä (RQ) oli yli 1.1. Tämän jälkeen kuormituksesta palautumista seurattiin 5 minuuttia kestävästä jäähyttelyn ajan, jolloin kuormana toimi 25 W. Koko testin ajan polkemisnopeus oli 60-70 kierrosta/min. Lääkäri seurasi tutkittavan vointia koko testitilanteen ajan.

Toisena tutkimuspäivänä koehenkilöt tulivat taksilla mittauksiin klo 7.00. Koehenkilöitä oli pyydetty tulemaan mittauksiin mahdollisimman pian heräämisen jälkeen, 12 tuntia paastonneena, tupakoimatta ja fyysistä aktiivisuutta välttäen. Ensimmäisenä mitattiin kehonkoostumus kaksienenergia-röntgenkuvaukseen perustuvalla DXA (Dual Energy X-ray Absorptiometry) mittauslaitteella. Tämän jälkeen mitattiin vyötärön- ja lantion ympärys.

Kehonkoostumusmittauksen jälkeen koehenkilö siirtyi perusaineenvaihduntamittaukseen, joka suoritettiin hengityskaasuja mittaamalla kupukalorimetri-menetelmällä. Ennen mittauksen aloittamista, koehenkilölle kerrottiin mittauksen kulku ja hän oli vuodelevossa 10 minuuttia. Tämän jälkeen alkoi 16 minuuttia kestävä varsinainen mittaus, joka suoritettiin hiljaisessa ja hämärästi valaistussa huoneessa makuuasennossa.

Tämän jälkeen koehenkilölle tehtiin Salosen ja Lakan (1987) 12 kk:n vapaa-ajan fyysisen aktiivisuuden haastattelu, jossa koehenkilön tuli kertoa mahdollisimman tarkkaan edeltävän vuoden aikana suoritettut vapaa-ajan fyysiset aktiivisuudet.

6.3 Aineiston keräys

Kaikki mittaukset suoritettiin tehtävään perehdytetyn mittaajan toimesta optimaalisissa mittausolosuhteissa.

6.3.1 Maksimaalinen nousujohteinen polkupyöräergometri-testi

Maksimaalinen nousujohteinen polkupyöräergometri-testi suoritettiin elektronisesti säädettävällä polkupyöräergometrillä (Ergoselect 200, Ergoline GmbH, Saksa). Koehenkilölle laitettiin hengitysmaski ja hengityskaasut analysoitiin jokaiselta hengitykseltä (breath-by-breath) hengityskaasuanalysointilaitteella (SensorMedics Vmax Encore 20-5B, VIASYS Healthcare Inc., Washington DC, USA). Hengityskaasuanalysointilaitteeseen kalibroitiin tilavuuden suhteen sekä referenssikaasun avulla happi- ja hiilidioksidipitoisuuksien suhteen ennen jokaista mittausta. Laite käynnistettiin 1h ennen kalibrointia. Sykettä mitattiin 12-kytkentäisen EKG-mittausjärjestelmän (CardioSoft v.5.02 GE Medical System Corina, GE Medical System inc., USA) avulla. Tämän lisäksi jokaisen kuorman lopussa viimeisen 30 sekunnin aikana kysyttiin RPE (rating of perceived exertion) Borgin asteikon 6 – 20 mukaisesti (Borg 1970).

6.3.2 Kehonkoostumus

Kehon massa, rasvaprosentti ja rasvaton massa määritettiin DXA-laitteella (Dual energy X-ray Absorptiometry, GE Medical System, Lunar Prodigy, Madison WI). Kunkin mittauspäivän aamuna laite kalibroitiin koekappaleen avulla. Koehenkilö makasi laitteessa selällään lyhyet alushousut päällä ilman koruja tai kelloa. Mittauksen aluksi koehenkilöä vedettiin nilkoista mittauspöydällä alaspäin, jotta selkäranka saatiin frontaalitason suhteen mahdollisimman suoraan asentoon. Koehenkilö ei saanut muuttaa selän asentoa mittauksen aikana. Lunar Prodigy -laite heijasti röntgensäteet koehenkilön alla olevasta pöydästä koehenkilön läpi koehenkilön yläpuolella liikkuvaan havaitsimeen. Koehenki-

löstä muodostettiin poikittaisleikkeet yhden cm välein koko kehon alueelta. Jokainen yksittäinen poikkileike muodostui noin 120 pikselistä, jotka kattoivat 5 x 10 mm pinta-alan. Tietokoneohjelma muodosti poikittaisleikkeistä kokonaiskuvan koehenkilöstä.

Pituus mitattiin mittanauhalla 0,1 cm:n tarkkuudella. BMI laskettiin kaavalla $\text{paino(kg)}/\text{pituus(m)}^2$. Vyötärön ympäryys mitattiin suoliluunharjun ja alimmankylkiluun puolesta välistä normaalin hengityksen aikana. Lantion ympäryys mitattiin reisiluun suurten sarvennoisten kohdalta. Sekä vyötärön- että lantion ympäryys mitattiin 0,5 cm tarkkuudella kolme kertaa.

6.3.3 Perusaineenvaihdunnan mittaus

Perusaineenvaihdunnan mittaukset tehtiin epäsuorana kalorimetriana asettamalla koehenkilön pään ympärille ilmatiivis kupu, joka oli yhdistetty hengityskaasuanalysointoriin (SensorMedics Vmax Encore 20-5B, VIASYS Healthcare Inc., Washington DC, USA). Hengityskaasuanalysointori kalibroitiin tilavuuden suhteen sekä referenssikaasun avulla happi- ja hiilidioksidipitoisuuksien suhteen ennen jokaista mittausta. Laite käynnistettiin 1h ennen kalibrointia. Hengityskaasuja mitattiin jokaiselta koehenkilöltä 16 minuuttia, jonka aikana jokainen koehenkilö oli saavuttanut vähintään yhden tasapainotilan (steady state) hengityskaasujen suhteen eli tilan, jolloin hengityskaasut eivät muuttuneet yli 5 % peräkkäisten minuuttien aikana.

6.3.4 Liikuntahaastattelu

Liikuntahaastattelu suoritettiin Salosen ja Lakan (1987) 12 kk:n vapaa-ajan fyysisen aktiivisuuden haastattelun mukaan. Haastattelun apuna käytettiin haastattelulomaketta, jossa oli erilaista vapaa-ajan aktiviteetteja ja lisäksi tilaa koehenkilön ilmoittamille muille aktiivisuuden lajeille (liite 2). Koehenkilön tuli kertoa vuoden aikana harrastamansa liikuntalajit, niiden harrastuskerrat kussakin kuukaudessa, yhden kerran keskimääräinen kesto ja arvio kuormittavuuden tasosta neliportaisella asteikolla, jotka oli selitetty hänelle sanallisesti ja ne olivat myös kirjallisena heidän nähtävänänsä. Taso 1 oli kevyin vaihtoehto vastaten kevyttä aktiivisuutta tai ulkoilua, taso 2 vastasi kuntoliikuntaa, taso 3 reipasta kuntoliikuntaa ja taso 4 raskasta kilpailunomaista liikuntaa.

6.4 Analyysit

6.4.1 Maksimaalinen nousujohteinen polkupyöräergometri-testi

Hapenkulutus ja hiilidioksidin tuotto keskiarvoistettiin kunkin kuorman viimeisen minuutin ajalta, jolloin myös maksimaalinen hapenotto oli määritetty minuutin keskiarvona. Rasvojen ja hiilihydraattien hapettuminen (g/min) on analysoitu hengityskaasuista liikuntasuoritusta varten muokattujen stoikiometristen yhtälöiden avulla, mitkä on määrittänyt Jeukendrup ja Wallis (2005). Rasvojen hapettuminen on määritetty yhtälöllä 1, joka on pätevä kaikilla kuormituksen intensiteeteillä:

$$1.695 \times \text{VO}_2 - 1.701 \times \text{VCO}_2 - 1.77 \times n \quad (1)$$

Hiilihydraattien hapettuminen on puolestaan analysoitu kahdella eri stoikiometrisellä yhtälöllä, joista yhtälö 2 on pätevä alhaisilla kuormitusten intensiteeteillä (< 50 % $\text{VO}_{2\text{max}}$ -arvosta) ja yhtälö 3 keskiraskaista raskaisiin intensiteetteihin (\geq 50 % $\text{VO}_{2\text{max}}$ -arvosta):

$$4.344 \times \text{VCO}_2 - 3.061 \times \text{VO}_2 - 2.37 \times n \quad (2)$$

$$4.210 \times \text{VCO}_2 - 2.962 \times \text{VO}_2 - 2.37 \times n \quad (3)$$

Yhtälöissä on otettu huomioon myös virtsan typen erityis (n). Tämä on kuitenkin todettu olemattoman pieneksi ja sen vaikutus tuloksiin on jätetty huomioimatta.

Absoluuttiset rasvojen ja hiilihydraattien hapettumisen määrät on siis analysoitu jokaiselta kuormalta erikseen. Tämän jälkeen on analysoitu intensiteetti, jolla absoluuttinen rasvan hapettuminen on suurinta ja tätä intensiteettiä kutsutaan maksimaaliseksi rasvan hapettumispisteeksi (fatmax-piste).

6.4.2 Kehonkoostumus

Lunar Prodigy -analysointiohjelman avulla DXA-mittauksista tulokseksi saatiin mm. kehon massa ja rasvaprosentti, rasvamassa ja rasvaton massa, joka on kehon massan, luumassan ja rasvamassan erotus. Vyötärön- ja lantionympäryys mitattiin 0,5 cm tarkkuudella kolme kertaa ja lopulliseksi tulokseksi hyväksyttiin mittausten keskiarvo.

6.4.3 Perusaineenvaihdunnan mittaus

Hapenkulutus ja hiilidioksidin tuotto keskiarvoistettiin kunkin minuutin ajalta ja näistä laskettiin hengitysosamäärä (hapenkulutus/hiilidioksidin tuotto). Nämä arvot keskiarvoistettiin edelleen 15 minuutin ajalta, alkaen toiselta minuutilta ja jatkuen mittauksen loppuun saakka. Tämän aikana kukin koehenkilöistä oli saavuttanut vähintään yhden steady state-tilan. Samalta ajalta SensorMedics Vmax Encore 20-5B-ohjelma analysoi automaattisesti myös lepoenergiankulutuksen (REE= resting energy expenditure). Rasvojen ja hiilihydraattien hapettuminen (g/min) on analysoitu hengityskaasuista lepoaineenvaihduntamittauksia varten tehtyjen stoikiometristen yhtälöiden avulla, mitkä on määrittänyt Peronnet ja Massicotte (1991). Yhtälöt perustuvat samaan oletukseen kuin kuormituksen aikana käytetyt yhtälöt (Jeukendrup & Wallis 2005) eli ihmisen keskimääräisiin triglyserolivarastojen koostumukseen, rasvahappojen ja glukoosin energianpotentiaaliin sekä yhden happi- tai hiilidioksidimolekyylin kokoon STPD-olosuhteissa. Rasvojen hapettuminen on määritetty yhtälöllä 4, joka on sama kuin kuormituksen aikana ilman virtsan typen eritystä:

$$1.695 \times \text{VO}_2 - 1.701 \times \text{VCO}_2 \quad (4)$$

Hiilihydraattien hapettuminen määritettiin yhtälöllä:

$$4.585 \times \text{VCO}_2 - 3.226 \times \text{VO}_2 \quad (5)$$

6.4.4 Liikuntahaastattelu

Liikuntahaastatteluista analysoitiin kukin fyysisen aktiivisuuden laji erikseen sen määrän, keston ja intensiteettiluokituksen avulla. Kutakin intensiteettiluokkaa vastaa tietty MET-kerroin, jonka avulla laskettiin kunkin fyysisen aktiivisuuden kokonaismäärää kuvaava MET-indeksi. Tässä tutkimuksessa käytettiin modifioitua (Leskinen ym. 2009) Salosen ja Lakan (1987) KIHD- tutkimusprojektissa määrittämiä MET-kertoimia näissä neljässä eri intensiteettiluokassa yleisimmille vapaa-ajan aktiviteeteille ja erilaisille hyötyliikuntamuodoille. Lajeille, joita ei löytynyt suoraan KIHD:n taulukosta, MET-kerroimet on mukailtu Ainsworthin (1993, 2000, 2011) tutkimusryhmien yhteenvetojen pohjalta. Koska Ainsworthin (1993, 2000, 2011) tutkimusryhmien yhteenvedossa ei ole neliportaisia intensiteettiluokituksia, muiden lajien MET-kertoimien neliportaiset määrittelyt tehtiin lajista riippuen jollakin seuraavista tavoista:

- 1) Lajit, joille Ainsworthin ym. (1993, 2000, 2011) yhteenveto antoi vähintään neljä intensiteettiä: Pääperiaatteena on, että Ainsworthin yhteenvedossa mainittua yleistason (General) MET-kerrointa käytetään tason 3 kertoimena. Lisäksi Ainsworthin tutkimusryhmien yhteenvedoista on etsitty matalampien ja korkeamman intensiteetin kertoimet, mikäli ne on kyseisessä yhteenvedossa mainittu. Tässä on noudatettu periaatetta, jonka mukaan intensiteettimaininta ”low”, tai pienin mainittu kerroin vastaa tason 1 intensiteettiä. Vastaavasti tason 2 kerroin mukaillee toiseksi alimman intensiteetin tai moderate- maininnalla kuvattua kerrointa. Tason 4 kertoimiksi valittiin kertoimet, joissa oli maininta intensiteetistä ”vigorous”, tai jotka olivat annetulle lajille suurimmat mahdolliset kertoimet. Tällä tavalla muodostettiin neliportainen MET-kerroinluokitus mm. golfille, aerobicille, laskettelulle, luistelulle jne.
- 2) Lajit, joille Ainsworthin ym. (1993, 2000, 2011) yhteenveto antoi vain yhden tai vähemmän kuin neljä intensiteettiä: Mukailtiin puuttuvat intensiteetit samankaltaisten lajien intensiteettien avulla. Esimerkiksi jääkiekolle on ilmoitettu vain kahden ylimmän intensiteettiluokan mukaiset MET-kertoimet, mutta puuttuvat intensiteetit muokattiin luistelun ilmoitettuja kertoimia käyttäen.
- 3) Lajit, joita ei mainittu Ainsworthin ym. (1993, 2000, 2011) yhteenvedossa: Intensiteettiluokille muodostettiin MET-arvot jonkin samankaltaisen lajin mukaan, tai kah-

den lajin intensiteettejä yhteen sovittamalla. Esimerkiksi Zumban intensiteetti oletettiin samanlaiseksi aerobicin kanssa.

Kun kunkin fyysisen aktiivisuuden kokonaismäärää kuvaava MET-indeksi oli laskettu, laskettiin nämä kaikki yhteen. Tällöin saatiin koko vuotta kuvaava MET-indeksi, joka oli muodossa METminuuttia/12kk. Koska aktiivisuuksia haluttiin tarkastella viikon jaksossa, jaettiin summa vuodessa olevien viikkojen määrällä (52) ja 60:llä, jolloin saatiin kokonais MET-arvo muodossa MET_h/vko. Tämän jälkeen tarkasteltiin lisäksi intensiivisiä fyysisiä aktiivisuuksia erikseen, joita oli useinmiten mm. juoksu, hiihto ja uinti. Intensiivisen liikunnan rajaksi valittiin Ainsworth ym. (2000) luokittelun mukaan MET-indeksi 6, jonka jälkeen kyseisen MET-indeksin ylittävät fyysiset aktiivisuudet laskettiin yhteen. Tällöin saatiin intensiivisen liikunnan määrää kuvaava MET_{int}-arvo. Kun tämä suhteutettiin kokonais MET-arvoon, saatiin intensiivisen liikunnan osuus kokonaisaktiivisuudesta (MET_{int}%)

6.5 Tilastolliset analyysit

Tutkimuksen tilastollisiin analyyseihin käytettiin SPSS 17,0 -ohjelmaa ja Exceltaulukkolaskentaohjelmaa. Ennen varsinaisia tilastollisia analyysejä tarkistettiin, onko aineisto jakautunut normaalisti. Koska aineisto oli jakautunut normaalisti, analyyseissä käytettiin parametrisia testejä. Eri muuttujien väliset korrelaatiot määritettiin Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla ja kaksosparien jäsenten välinen yhteys otettiin huomioon tekemällä analyysit statan svy:reg-komennolla. Kaksosten väliset erot ja yhtäläisyydet on määritetty parittaisella t-testillä. Aineistoa tarkasteltiin myös jakamalla se kvartiileihin erilaisten muuttujien mukaan, jonka jälkeen suoritettiin tilastolliset analyysit ääripäiden välillä hyödyntäen paritonta t-testiä. Tämän lisäksi laskettiin keskiarvoja ja keskihajontoja. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi valittiin $p < 0,05$.

7 TULOKSET

Tulososio on jaettu neljään eri osaan. Ensimmäisessä kappaleessa esitellään koehenkilöiden kehonkoostumukseen ja liikunta-aktiivisuuteen liittyvät tulokset, jonka jälkeen tarkastellaan rasva-aineenvaihduntaa levossa ja kuormituksessa sekä liikunnanharrastuksen, kehonkoostumuksen ja perintötekijöiden vaikutusta rasva-aineenvaihduntaan.

7.1 Kehonkoostumus ja liikunta-aktiivisuus

Kuten taulukosta 2 näkyy, kaksosten pituudessa, kehon massassa, BMI:ssä eikä rasvatomassa massassa ollut eroa. Kehonkoostumuksessa esiintyi kaikkien kaksosten välillä kuitenkin eroa rasvamassassa ($p=0,033$) ja rasvaprosentissa ($p=0,016$) sekä vyötärön ympäryksessä ($p=0,035$). Liikunnan frekvenssin suhteen eroavat parit erosivat myös rasvamassan ($p=0,033$), rasvaprosentin ($p=0,011$) ja vyötärön ympäryksen ($p=0,041$) suhteen, mutta liikunnan intensiteetin suhteen eroavilla pareilla kehonkoostumuksessa ei esiintynyt tilastollisesti merkitseviä eroja.

Liikunta-aktiivisuuden erot näkyivät kaikkien kaksosten välisinä eroina maksimaalisessa hapenotossa ($p=0,012$), intensiivisen liikunnan määrässä ($p=0,018$) sekä intensiivisen liikunnan suhteellisessa osuudessa koko liikunta-aktiivisuudesta ($p=0,048$). Liikuntafrekvenssin suhteen eroavista pareista aktiivisella parilla oli $VO_2\max$ merkittävästi suurempi kuin inaktiivisella parilla ($p=0,009$), vaikka liikunta-aktiivisuudessa ei esiintynyt merkittävää eroa. Liikunnan intensiteetin suhteen eroavilla pareilla ero näkyi intensiivisen liikunnan määrässä ($p=0,042$) ja intensiivisen liikunnan suhteellisessa osuudessa koko liikunta-aktiivisuudesta ($p=0,049$). (Taulukko 2.)

Yksilötason analyysien mukaan $VO_2\max$ korreloi kokonaisliikunta-aktiivisuuden ($r=0,535$, $p=0,007$) ja intensiivisen liikunnan määrän kanssa ($r=0,557$, $p=0,003$). Kehonkoostumusmuuttujista $VO_2\max$ korreloi rasvamassan ($r=-0,589$, $p=0,002$) ja rasvaprosentin ($r=-0,702$, $p<0,001$) kanssa.

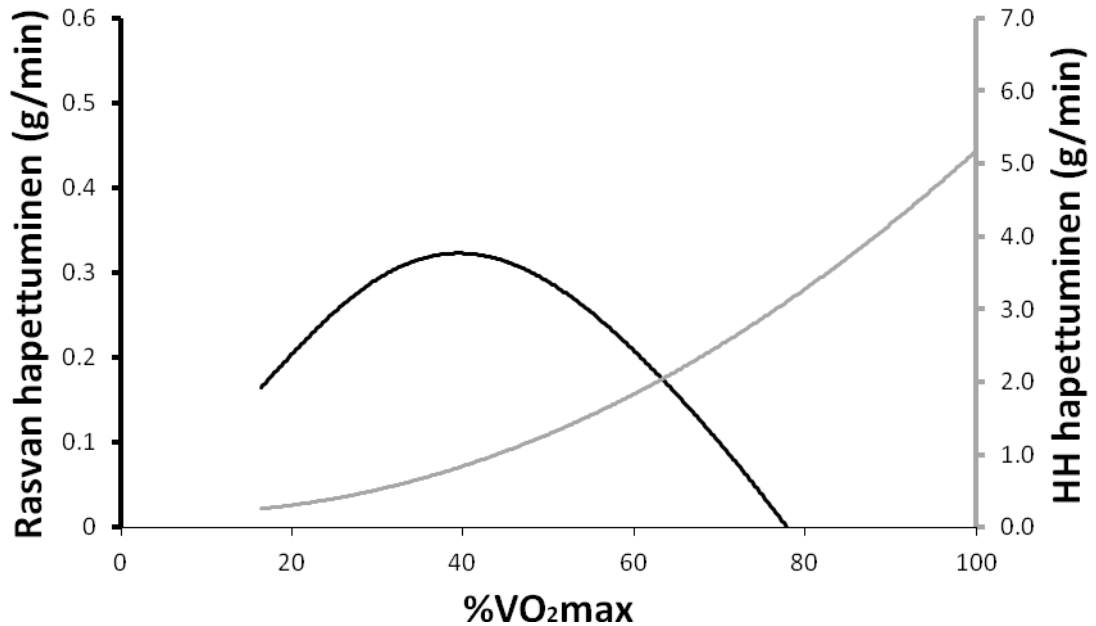
TAULUKKO 2. Koehenkilöiden kehonkoostumus ja liikunta-aktiivisuus. Taulukossa käytetty keskiarvoa \pm keskihajontaa SD.

	Kaikki yksilöt	Kaikki parit		Liikunnan frekvenssissä eroavat parit		Liikunnan intensiteetissä eroavat parit	
		Aktiivi	Inaktiivi	Aktiivi	Inaktiivi	Aktiivi	Inaktiivi
N	24	12	12	7	7	5	5
Ikä	35 \pm 1	35 \pm 1	35 \pm 1	35 \pm 1	35 \pm 1	35 \pm 1	35 \pm 1
Pituus (cm)	179 \pm 4	179 \pm 5	179 \pm 4	179 \pm 5	179 \pm 4	179 \pm 5	179 \pm 5
Kehon massa (kg)	76 \pm 12	73 \pm 14	79 \pm 10	76 \pm 8	81 \pm 11	69 \pm 20	77 \pm 8
BMI (kg/m²)	24 \pm 4	23 \pm 4	25 \pm 7	24 \pm 2	25 \pm 3	22 \pm 6	24 \pm 2
Rasvaprosentti	24 \pm 6	23 \pm 5 *	26 \pm 7	23 \pm 3 *	27 \pm 6	22 \pm 6	24 \pm 9
Rasvamassa (kg)	18 \pm 6	17 \pm 4 *	20 \pm 7	17 \pm 4 *	22 \pm 7	17 \pm 6	18 \pm 8
Rasvaton massa (kg)	56 \pm 5	57 \pm 5	56 \pm 6	56 \pm 5	56 \pm 5	57 \pm 6	56 \pm 7
Vyötärön ympärys (cm)	88 \pm 6	86 \pm 5 *	90 \pm 6	86 \pm 6 *	91 \pm 7	87 \pm 6	88 \pm 3
Lantion ympärys (cm)	97 \pm 5	97 \pm 5	98 \pm 5	96 \pm 3	98 \pm 5	98 \pm 8	98 \pm 6
VO₂max (ml/kg/min)	40 \pm 8	43 \pm 6 *	37 \pm 9	42 \pm 5 *	33 \pm 5	45 \pm 7	43 \pm 10
MET (h/vko)	32 \pm 21	39 \pm 22	24 \pm 19	35 \pm 20	20 \pm 20	45 \pm 24	30 \pm 18
METint (h/vko)	16 \pm 19	21 \pm 22 *	12 \pm 14	12 \pm 8	7 \pm 11	35 \pm 29 *	18 \pm 17
METint%	47 \pm 28	56 \pm 31 *	38 \pm 23	45 \pm 31	30 \pm 19	71 \pm 27 *	49 \pm 26

* tilastollisesti merkitsevä ero parien välillä ($p < 0,05$).

7.2 Rasva-aineenvaihdunta levossa ja kuormituksessa

Maksimaalinen rasvanhapettuminen kuormituksen aikana oli $0,36 \pm 0,14$ g/min ja se saavutettiin kuormituksen intensiteetillä 40 ± 9 % $VO_2\text{max}$ -arvosta (fatmax). Hiilihydraatteja käytettiin eniten energiaksi maksimaalisella kuormituksen intensiteetillä ($5,1 \pm 1,0$ g/min). (Kuva 13.)

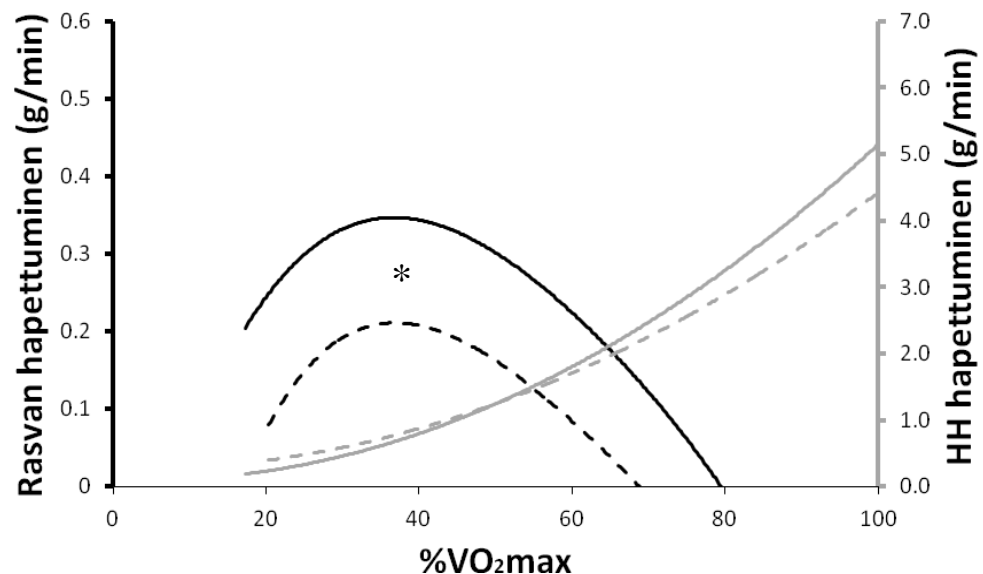


KUVA 13. Rasvojen ja hiilihydraattien (HH) hapettuminen kuormituksen aikana. Musta käyrä kuvaa rasvojen hapettumista ja harmaa käyrä hiilihydraattien hapettumista.

Hengitysosamäärä oli levossa $0,82 \pm 0,05$, jolloin rasvoja hapettui $0,07 \pm 0,03$ g/min ja hiilihydraatteja hapettui $0,13 \pm 0,07$ g/min. Lepoaineenvaihdunta oli keskimäärin 1659 ± 177 kcal/h.

Levon rasva-aineenvaihdunta ei korreloinut kuormituksen aikana olleen rasva-aineenvaihdunnan kanssa. Rasva-aineenvaihdunnan välisiä yhteyksiä levossa ja kuormituksessa tutkittiin kuitenkin jakamalla koehenkilöt kvartiileihin lepoaineenvaihduntamittauksen aikana olleen hengitysosamäärän mukaisesti ja tarkastelemalla energia-aineenvaihduntaa kuormituksen aikana ääripäiden välillä. Alimman kvartiilin yläraja oli 0,78 ja ylimmän kvartiilin alaraja 0,86. Matalan RQ:n omaavan ryhmän ($n = 7$) keskimääräinen RQ oli $0,77 \pm 0,01$ ja korkean RQ:n omaavan ryhmän ($n = 6$) keskimääräinen RQ oli $0,90 \pm 0,04$. Rasvojen hapettuminen oli matalan

RQ:n omaavalla ryhmällä merkittävästi suurempaa ($p < 0,001$) kuin korkean RQ:n omaavalla ryhmällä ($0,10 \pm 0,01$ vs. $0,04 \pm 0,02$ g/min). Hiilihydraattien hapettumisessa oli vastaavasti havaittavissa päinvastainen merkittävä ero ($0,08 \pm 0,01$ vs. $0,24 \pm 0,08$ g/min, $p = 0,001$). Kuten kuvasta 14 näkyy, maksimaalinen rasvan hapettuminen oli matalan RQ:n ryhmällä merkitsevästi suurempi ($p = 0,046$) kuin korkean RQ:n ryhmällä ($0,41 \pm 0,16$ vs. $0,24 \pm 0,07$ g/min), mutta maksimaalinen hiilihydraattien hapettuminen ei eronnut ($5,1 \pm 0,7$ vs. $4,5 \pm 1,3$ g/min). Ryhmien välillä ei ollut eroa vapaa-ajan liikunnan määrässä (MET) tai -intensiteetissä (METint). Myöskään maksimaalinen hapenotto tai intensiteetti, jossa maksimaalinen rasvan hapettuminen saavutettiin, ei eronnut. Maksimaalisen rasvanhapettumisen lisäksi ainoa ero ryhmien välillä oli rasvatomassa massassa, joka oli matalan RQ:n ryhmällä merkittävästi suurempi ($p = 0,041$) kuin korkean RQ:n ryhmällä (58 ± 4 vs. 52 ± 4 kg).

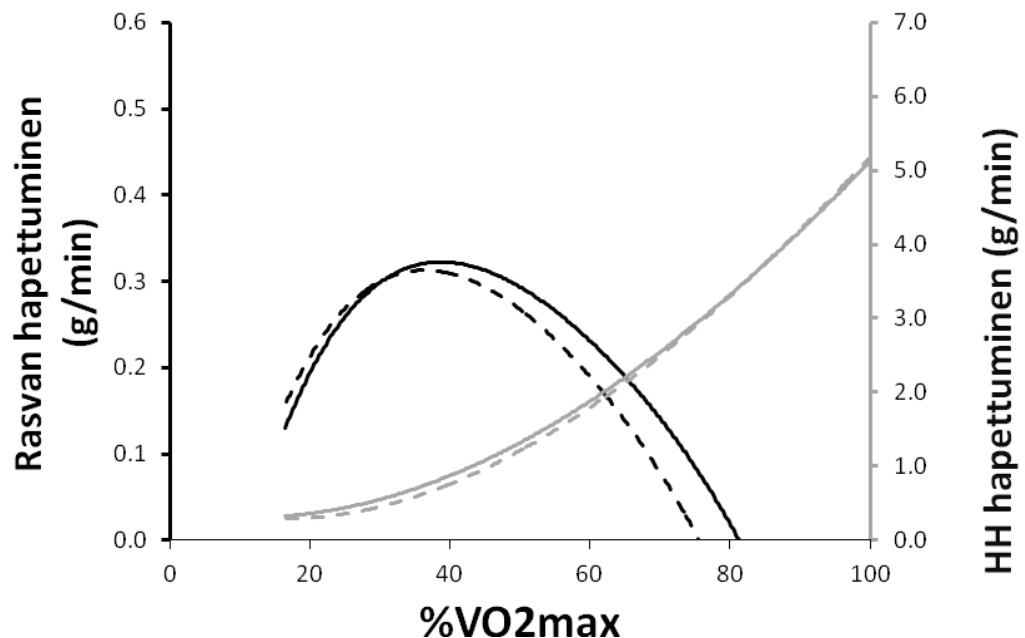


KUVA 14. Rasvojen ja hiilihydraattien (HH) hapettuminen matalan lepo-RQ:n (yhtenäinen viiva) ja korkean lepo-RQ:n (katkoviiva) ryhmillä. Rasvan hapettuminen on kuvattu kuormituksen eri intensiteeteillä mustalla käyrällä ja HH hapettuminen harmaalla. * tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä ($p = 0,046$).

7.3 Liikuntaharrastuksen vaikutus rasva-aineenvaihduntaan

Liikuntaharrastuksen vaikutusta rasva-aineenvaihduntaan oli mahdollista tarkastella useasta eri näkökulmasta liikunnallisesti eroavien identtisten kaksosten avulla. Kuten kuvasta 15 näkyy, energia-aineenvaihdunta ei eroa kaksosten välillä liikuntasuorituksen

aikana. Inaktiivinen kaksonen käyttää maksimaalisesti lähes yhtä paljon rasvoja ($0,35 \pm 0,12$ vs. $0,37 \pm 0,17$) ja hiilihydraatteja ($5,1 \pm 0,9$ vs. $5,1 \pm 1,0$ g/min) energian valmistuksessa kuin aktiivinen kaksonen. Energia-aineenvaihdunta ei eronnut myöskään levossa inaktiivisen ja aktiivisen kaksosen välillä, joka näkyy hengitysosamäärästä ($0,82 \pm 0,06$ vs. $0,82 \pm 0,05$). Kuvassa 18 onkin esimerkki kaikkien aktiivisten ja inaktiivisten kaksosten välisestä korrelaatiosta maksimaalisen rasvan hapettumisen osalta ($r=0,734$, $p=0,007$) ja kuvassa 19 lepoaineenvaihduntamittauksen aikana mitatun hengitysosamäärän korrelaatio vastaavilla ryhmillä ($r=0,725$, $p=0,008$). Maksimaalisessa rasvan hapettumisessa, fatmax-pisteessä, rasvan hapettumisessa levossa tai lepoRQ:ssa ei löytynyt merkittäviä eroja myöskään silloin, kun vertailtiin aktiivista ja inaktiivista kaksosta liikunnan määrässä eroavien kaksosten tai liikunnan intensiteetissä eroavien kaksosten välillä.



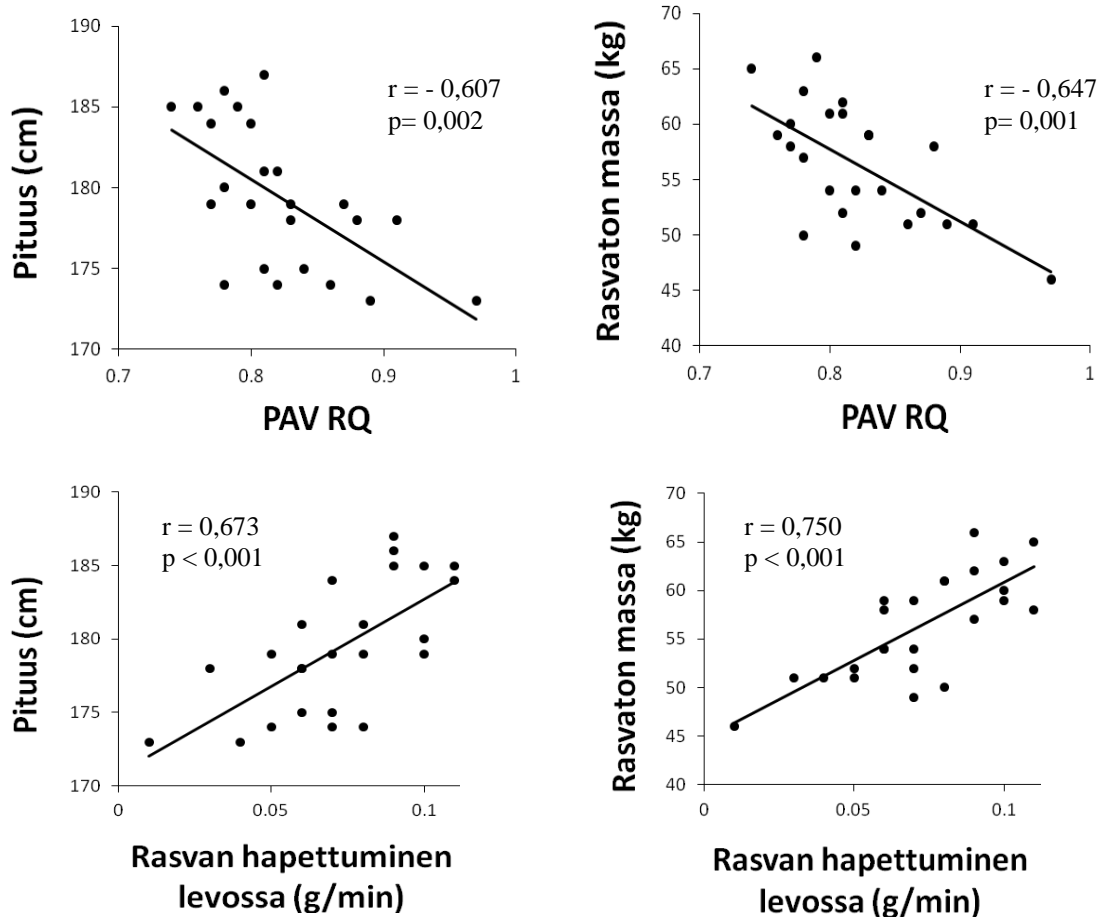
KUVA 15. Rasvojen ja hiilihydraattien (HH) hapettuminen aktiivisilla (yhtenäinen viiva) ja inaktiivisilla (katkoviiva) kaksosilla. Rasvan hapettuminen on kuvattu kuormituksen eri intensiteeteillä mustalla käyrällä ja HH hapettuminen harmaalla.

Tulosta vahvasti yksilötason analyysit, joiden perusteella ei löydetty mitään korrelaatioita rasva-aineenvaihdunnan ja liikunta-aktiivisuusmuuttujien väliltä. Tämän lisäksi vertailtiin hapenkulutuksen, MET-indeksin ja intensiivisen liikunnan perusteella jaettuja kvartiilien ääripäitä. Vaikka vapaa-ajan liikunta ja VO_2max erosivat merkitsevästi kaikkien näiden ääripäiden välillä ($p<0,05$), MFO, fatmax, PAVRQ eikä myöskään rasvojen tai hiilihydraattien hapetus levossa eronnut ääripäiden välillä. Ke-

honkoostumusmuuttujista myöskään rasvaton massa ei eronnut kyseisten kvartiilien ääripäiden välillä.

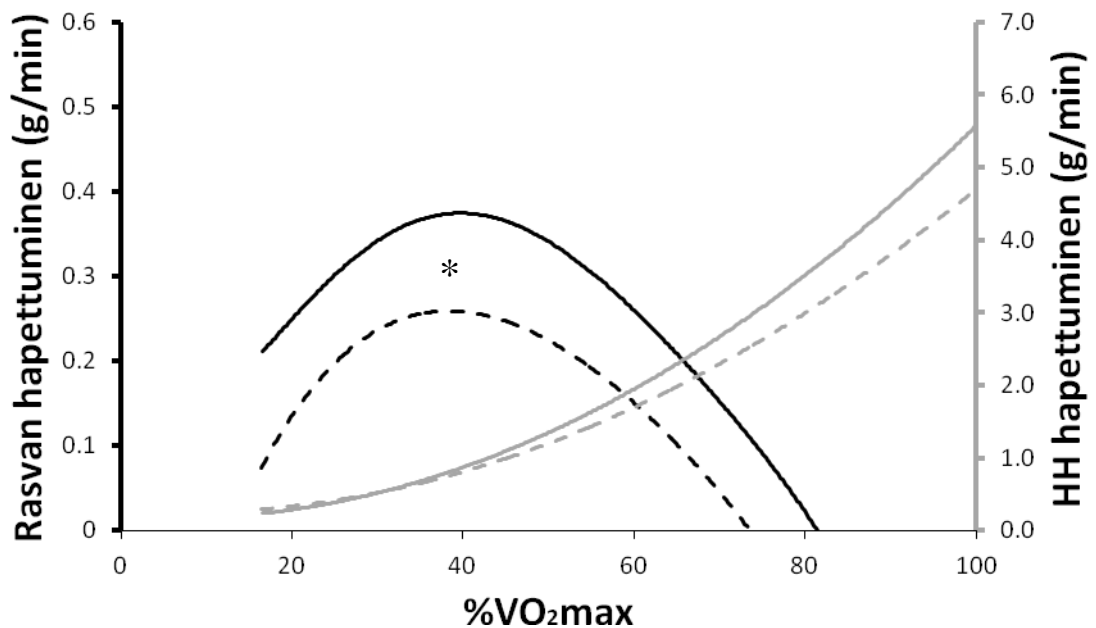
7.4 Kehonkoostumuksen vaikutus rasva-aineenvaihduntaan

Kuten kuvasta 16 näkyy, levon hengitysosamäärä korreloi merkittävästi kehon pituuden ($r = -0,607$, $p = 0,002$) ja rasvattoman massan kanssa ($r = -0,647$, $p = 0,001$). Tarkemmin ottaen erityisesti rasvojen hapettuminen levossa korreloi rasvattoman massan ($r = 0,750$, $p < 0,001$) ja pituuden ($r = 0,673$, $p < 0,001$) kanssa (kuva 16), mutta hiilihydraattien hapettuminen ei korreloinut minkään kehonkoostumusmuuttujan kanssa. Kuormituksen aikana rasvojen ja hiilihydraattien hapettuminen ei korreloinut minkään kehonkoostumusmuuttujan kanssa.



KUVA 16. Lepoaineenvaihduntamittauksen aikana mitatun hengitysosamäärän (PAV RQ) ja rasvan hapettumisen välinen yhteys kehon pituuteen (vasemmalla) ja kehon rasvattomaan massaan (oikealla).

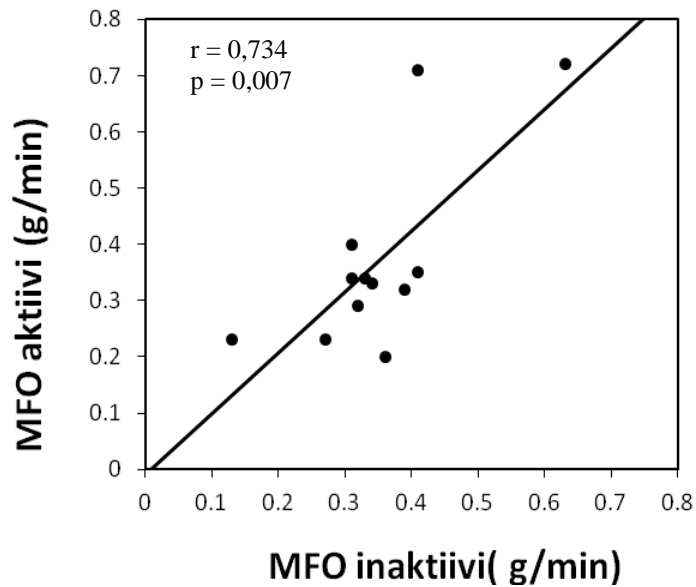
Kehonkoostumuksen vaikutusta rasva-aineenvaihduntaan etsittiin korrelaatioiden lisäksi jakamalla koehenkilöt jonkin tietyn kehonkoostumusarvon mukaisesti kvartiileihin ja tarkastelemalla ääripäiden eroja rasva-aineenvaihdunnassa. Ainoa merkittävä ero rasva-aineenvaihdunnassa löytyi, kun jaettiin koehenkilöt rasvattoman massan mukaan kvartiileihin. Koska erot näkyivät selkeästi jo jakamalla koehenkilöt puoliksi lihasmassan mukaan, käytettiin tätä ryhmittelyä jatkoanalyysissä. Rasvaprosentissa tai rasvamas- sassa ryhmien välillä ei ollut eroa, mutta rasvaton massa erosi luonnollisesti selkeästi ryhmien välillä (50 ± 2 vs. 36 ± 2 , $p < 0,001$). Tulosten mukaan pienemmän rasvattoman massan omaavilla koehenkilöillä energia-aineenvaihduntaa kuvaava hengitysosamäärä oli suurempi ($0,85 \pm 0,06$ vs. $0,80 \pm 0,04$, $p = 0,023$), rasvojen hapettuminen levossa pie- nempää ($0,06 \pm 0,02$ vs. $0,09 \pm 0,02$ g/min, $p = 0,001$) ja kuten kuvasta 17 näkyy, mak- simaalinen rasvan hapettuminen kuormituksen aikana oli vähäisempää ($0,30 \pm 0,08$ vs. $0,42 \pm 0,16$, $p = 0,030$). Hiilihydraattien hapettuminen eri eronnut merkittävästi ryhmien välillä levossa eikä kuormituksessa.



KUVA 17. Rasvojen ja hiilihydraattien (HH) hapettuminen rasvattoman massan perusteella jaetuilla ryhmillä. Suuremman rasvattoman massan omaavilla energiasubstraattien hapettumista on kuvattu yhtenäisellä viivalla ja pienemmän rasvattoman massan omaavilla katkoviivalla. Rasvan hapettuminen on kuvattu kuormituksen eri intensiteeteillä mustalla käyrällä ja HH hapettuminen harmaalla. * tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä ($p = 0,030$).

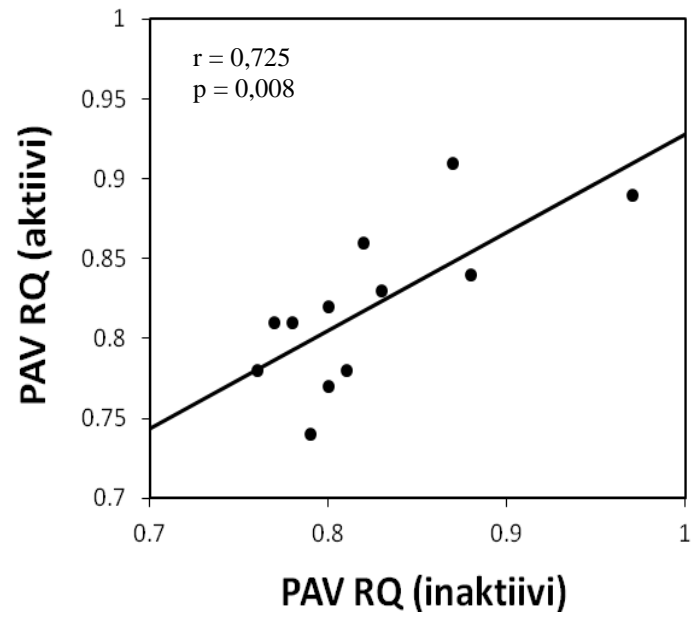
7.5 Perintötekijöiden vaikutus rasva-aineenvaihduntaan

Perintötekijöiden vaikutus kehon koostumukseen näkyi koehenkilötietojen yhteydessä esitettyssä taulukossa 2. Vaikka aktiivisella kaksosella oli $VO_2\text{max}$ suurempi (43 ± 6 vs. 37 ± 9 ml/kg/min, $p=0,012$) ja hän oli vapaa-ajallaan aktiivisempi sekä määrällisesti että kuormituksen intensiteetin mukaan, niin maksimaalinen rasvan hapettuminen ei eronnut parien välillä ($0,37 \pm 0,17$ vs. $0,35 \pm 0,12$ g/min). Kuvassa 18 näkyykin kaksosten välinen merkittävä korrelaatio ($r=0,734$, $p=0,007$) maksimaalisessa rasvan hapettumisessa.



KUVA 18. Maksimaalisen rasvan hapettumisen (MFO) korrelaatio kaksosten välillä.

Vastaavasti myöskään lepoaineenvaihdunnan energialähteitä kuvaava RQ ei eronnut parien välillä ($0,82 \pm 0,05$ vs. $0,82 \pm 0,06$) ja kuten kuvasta 19 näkyy, kaksosten välinen korrelaatio oli merkittävä ($r=0,725$, $p=0,008$). Tarkemmin ottaen kaksoset olivat yhteneviä sekä levon rasvan hapettumisen ($0,07 \pm 0,03$ vs. $0,07 \pm 0,03$) että hiilihydraatin hapettuminen ($0,13 \pm 0,05$ vs. $0,13 \pm 0,06$) osalta. Lisäksi merkittävät korrelaatiot löytyivät kaksosten väliltä sekä rasvan ($r=0,747$, $p=0,005$) että hiilihydraatin ($r=0,599$, $p=0,040$) hapettumisessa. Energia-aineenvaihduntaan liittyvät tulokset olivat samansuuntaiset kun vertailtiin erikseen liikunnan määrässä ja liikunnan intensiteetissä eroavia pareja keskenään.



KUVA 19. Kaksosten välinen korrelaatio hengitysosamäärässä (RQ) perusaineenvaihduntamittauksen (PAV) aikana.

8 POHDINTA

Tutkimuksen päätulosten mukaan levon rasva-aineenvaihdunta ennustaa rasva-aineenvaihdunnan vilkkautta kuormituksessa. Rasva-aineenvaihdunnan vilkkauteen vaikuttaa puolestaan vahvasti henkilön perimä ja osaltaan myös perimän määrittämä kehonkoostumus. Tulokset ovat hypoteesien mukaisia, vaikka esimerkiksi perimän vaikutuksia rasva-aineenvaihduntaan ei ole tiedettävästi aiemmin tutkittu. Täten tulosten uutuudenarvo olikin merkittävä.

Tulosten mukaan hengitysosamäärä oli levossa keskimäärin $0,82 \pm 0,05$, jolloin rasvoja hapettui $0,07 \pm 0,03$ g/min ja hiilihydraatteja hapettui $0,13 \pm 0,07$ g/min. Tämä on yhtenevä aiempien tutkimusten kanssa, sillä substraattien hapettumista kuvaava hengitysosamäärä on normaalia sekaruokavaliota noudattavilla henkilöillä levossa juuri $0,82$ (Melzer 2011). Koska yksi gramma rasvaa tuottaa 9 kcal ja yksi gramma hiilihydraattia 4 kcal energiaa, voidaan tuloksesta päätellä, että koehenkilöt ovat saaneet yli puolet energiastaan hapettamalla rasvoja.

Maksimaalinen rasvan hapettuminen kuormituksen aikana oli $0,36 \pm 0,14$ g/min ja se saavutettiin kuormituksen intensiteetillä 40 ± 9 % VO_2 max-arvosta. Sekä maksimaalinen rasvan hapettuminen että fatmax-piste olivat yleisesti ottaen hieman alhaisempia, kuin keskimäärin aiemmissa tutkimuksissa on ollut normaaliväestöllä. Suurin tulokseen vaikuttava tekijä on varmasti kuormitustapa, sillä aiempien tutkimusten perusteella maksimaalinen rasvan hapettuminen on pyöräilyn aikana merkittävästi pienempää kuin kävelyn ja juoksun (Achten ym. 2003, Knechtle ym. 2004). Koska rasvojen hapettumiseen vaikuttaa myös sukupuoli, voidaan sen olettaa olevan toinen päätekijä tulosten eroihin. Kuten Perez-Martin ym. (2001), Venables ym. (2005) ja Knechtle ym. (2004) ovat osoittaneet, maksimaalinen rasvan hapettuminen on miehillä pienempää kuin naisilla ja miehet saavuttavat sen alhaisemmilla kuormituksen intensiteeteillä kuin naiset. Koska kaikki tämän tutkimuksen koehenkilöistä olivat miehiä ja rasvojen hapettumista tutkittiin polkupyöräergometritestin aikana, on tulosten erot selitettävissä näillä tutkimusasetelmaeroilla.

Maksimaalinen hapenotto, liikunta-aktiivisuus tai intensiivisen liikunnan määrä ei korreloinut rasva-aineenvaihdunnan kanssa levossa eikä kuormituksessa. Tämän lisäksi vertailtiin näiden liikuntataustaa kuvaavien muuttujien perusteella jaettujen kvartiilien ääripäitä, eikä eroja rasva-aineenvaihdunnassa tullut vielääkään esille. Liikuntataustan vaikutuksia rasva-aineenvaihduntaan oli mahdollista lisäksi tutkia liikuntataustaltaan eroavien identtisten kaksosten välillä. Vaikka koehenkilöiden rekrytoinnin voidaan todeta onnistuneen, sillä kaksoset todellakin erosivat maksimaalisen hapenoton (43 ± 6 vs. 37 ± 9 ml/kg/min) ja fyysistä aktiivisuutta kuvaavan MET-arvon (erityisesti intensiivisen liikunnan) osalta, rasva-aineenvaihdunnassa ei löytynyt merkittäviä eroja kaksosten väliltä. Vaikka rasvojen hapettuminen levossa ja kuormituksessa korreloi merkittävästi aktiivisen ja inaktiivisen kaksosen välillä (kuva 18 ja 19), oli kuormituksen aikana kuitenkin havaittavissa pieni trendi sen mukaisesti, että aktiivisella kaksosella on kyky hapettaa rasvoja enemmän kuormituksen suuremmilla intensiteeteillä.

Nämä tulokset ovat toisaalta yhteneviä ja toisaalta ristiriitaisia aiempien tutkimusten kanssa. Liikunta-aktiivisuuden on osoitettu vilkastuttavan rasva-aineenvaihduntaa erityisesti kuormituksen aikana (Achten & Jeukendrup 2003b, Stisen ym. 2006). Tätä on selitetty mm. sillä, että erityisesti kestävyysharjoittelu kehittää hapen avulla tapahtuvaa energia-aineenvaihduntaa, jolloin energiaa voidaan tuottaa pidempään rasvoista ja ilman happamuuden syntymistä lihaksiin. González-Haro ym. (2007) mukaan rasvojen hapettuminen alkaa laskea juuri sillä kuormituksen intensiteetillä, jolla laktaattia alkaa kerääntyä lihaksiin. Tämä selittänee sitä, miksi aktiivisilla kaksosilla näytti olevan kyky hapettaa rasvoja enemmän myös korkeilla kuormituksen intensiteeteillä, vaikka eroa ei näkynytkään maksimaalisessa rasvan hapettumisessa. Kestävyysharjoittelun on todettu myös kehittävän oksidatiivisia lihassoluja, joiden määrän on puolestaan havaittu korreloivan rasva-aineenvaihdunnan kanssa sekä kuormituksen aikana että levossa (Turpeinen ym. 2006, Goebecke ym. 2000). Levon rasva-aineenvaihdunnan ja liikunta-aktiivisuuden yhteyttä on tutkittu vähemmän ja tulokset ovat olleet ristiriitaisia (Potteiger ym. 2008, Calles-Escandón ym. 1996). Syitä siihen, miksi liikunta-aktiivisuuden vaikutuksia rasva-aineenvaihduntaan ei havaittu tässä tutkimuksessa levossa eikä maksimaalisessa rasvan hapettumisessa kuormituksen aikana, voidaan pyrkiä selittämään mm. tutkimusasetelmaeroilla: tässä tutkimuksessa ei vertailtu erityisesti urheilijoita ja inaktiivisia, jolloin erot kuntotasossa tai liikunta-aktiivisuuden määrässä eivät ole niin selkeät kuin aiemmissa tutkimuksissa. Lisäksi kehonkoostumusmuuttujista erityisesti

rasvattoman massan on havaittu vaikuttavan rasvojen hapettumiseen sekä kuormituksessa että levossa (Calles-Escandón ym. 1995, Perez-Martin ym. 2001). Tässä tutkimuksessa rasvaton massa ei kuitenkaan eronnut minkään liikunta-aktiivisuuden mukaan jaoteltujen ryhmien välillä, mikä voi selittää rasva-aineenvaihdunnan yhtäläisyydet liikuntataustaltaan eroavien ryhmien välillä.

Kuten edellisessä kappaleessa viitattiin kehonkoostumus vaikuttaa rasva-aineenvaihduntaan ja se näkyi myös tämän tutkimuksen tuloksissa. Levon hengitysosamäärä ja rasvan hapettuminen korreloivat merkittävästi kehon pituuden ja rasvattoman massan kanssa (kuva 16). Muiden kehonkoostumusmuuttujien ja levon rasva-aineenvaihdunnan väliltä ei löytynyt merkittävää yhteyttä. Tätä tukee Calles-Escandón ym. (1995) tutkimustulokset, joiden mukaan rasvamassa ei korreloi rasvan hapettumisen kanssa, mutta rasvaton massa on yksi merkittävimmistä yksittäisistä muuttujista ennustamaan rasvan hapettumista levossa. Myöskään Nagy ym. (1996) ei löytänyt yhteyttä rasvamassan ja rasvan hapettumisen kanssa toisin kuin Schutz ym. (1992) ja Astrup ym. (1994) mukaan rasvamassa korreloi positiivisesti rasvan hapettumisen kanssa. Syitä siihen, miksi eri tutkimusten tulokset eroavat rasvamassan ja rasvan hapettumisen väliltä löytyvien korrelaatioiden osalta voidaan selittää mm. koehenkilöjoukon eroissa: osassa tutkimuksista on tutkittu terveitä, normaalipainoisia henkilöitä ja osassa tutkimuksissa on vertailtu ylipainoisia ja normaalipainoisia. Selvää kuitenkin näyttäisi olevan rasvattoman massan positiivinen korrelaatio rasvan hapettumisen kanssa, sillä levon lisäksi rasvaton massa vaikuttaa ainoana kehon koostumusmuuttujana myös kuormituksen aikana tapahtuvaan rasva-aineenvaihduntaan. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan maksimaalinen rasvojen hapettuminen oli merkittävästi suurempaa henkilöillä, joilla rasvaton massa oli suurempi ($0,42 \pm 0,16$ vs. $0,30 \pm 0,08$, $p=0,030$). Tulosta selittänee yksinkertaisesti se, että rasvan hapettuminen tapahtuu lihaksissa eli henkilö, jolla on enemmän rasvatonta massaa, kuluttaa enemmän energiaa ja on kykenevä hapettamaan rasvoja enemmän energiaksi suuremman lihasmassansa ansiosta.

Maksimaalinen rasvan hapettuminen ei eronnut kaksosten välillä ($0,37 \pm 0,17$ vs. $0,35 \pm 0,12$ g/min), vaikka aktiivisella kaksosella oli VO_2 max suurempi (43 ± 6 vs. 37 ± 9 ml/kg/min, $p=0,012$) ja hän oli vapaa-ajallaan aktiivisempi sekä määrällisesti että kuormituksen intensiteetin mukaan. Myöskään levon aikana tapahtuvassa rasvan hapettumisessa ei löytynyt minkäänlaisia eroja ($0,07 \pm 0,03$ vs. $0,07 \pm 0,03$). Rasvan hapettumi-

sesta löytyikin merkittävä korrelaatio kaksosten väliltä sekä levossa (0,747, $p=0,005$) että kuormituksessa (0,734, $p=0,007$). Kuten tuloksista voidaan huomata, parien väliltä löytyi merkittävät yhdenmukaisuudet energia-aineenvaihdunnassa huolimatta heidän erilaisesta liikuntahistoriasta. Tätä tulosta ei voida kuitenkaan vertailla aiempiin tutkimuksiin sillä, tämä on tiedettävästi ensimmäinen kerta, kun perinnöllisyyden vaikutusta rasvojen hapettumiseen tutkitaan. Kaksoset olivat yhteneviä myös lihasmassan osalta, mutta liikuntataustan vaikutus näkyi rasvamassan ja rasvaprosentin eroissa. Tämä tulos on yhtenevä Leskinen ym. (2010) tulosten kanssa, jossa tutkittiin 30 vuoden ajan liikuntataustan suhteen eroavia identtisiä kaksosia. Heidän raportoitujen tulostensa mukaan rasvaprosentti eroaa kaksosten välillä, mutta lihasmassassa ei ole merkittävää eroa (julkaisematon tulos).

Kuten kuvasta 14 on nähtävissä, henkilöt, joiden hengitysosamäärä oli levossa matalampi ($0,77 \pm 0,01$ vs. $0,90 \pm 0,04$) eli he käyttivät energianlähteenään suhteellisesti enemmän rasvoja, hapettivat myös kuormituksen aikana enemmän rasvoja ($p=0,046$) kuin korkean RQ:n ryhmä ($0,41 \pm 0,16$ vs. $0,24 \pm 0,07$ g/min). Tätä ilmiötä on aiemmin tutkinut tiedettävästi ainoastaan Rosenkilde ym. (2010) tutkiessaan rasva-aineenvaihdunnan yhteyksiä levossa ja kuormituksessa sekä sen vaikutuksia metabolisen oireyhtymän riskiin terveillä ylipainoisilla miehillä. He käyttivät vastaavaa tutkimusprotokollaa levon ja kuormituksen aikana tapahtuvan rasva-aineenvaihdunnan määrittämiseen kuin tässä tutkimuksessa. Heidän tuloksensa olivat yhtenevät tämän tutkimuksen tulosten kanssa, koska heidän tulostensa mukaan maksimaalinen rasvan hapettuminen erosi merkittävästi lepoaineenvaihduntamittauksen hengitysosamäärän perusteella jaettujen ääripäiden välillä: henkilöt, jotka käyttivät levossa enemmän rasvoja energiaksi, käyttivät myös kuormituksessa enemmän rasvoja energiaksi ($0,33 \pm 0,096$ vs. $0,169 \pm 0,028$ g/min, $p=0,01$). Tämän lisäksi ryhmällä, joka käytti levossa ja kuormituksessa enemmän rasvoja energiaksi kuin toinen ryhmä, oli vähemmän riskitekijöitä sairastua metaboliseen oireyhtymään. Tämän tutkimuksen tulokset vahvistivat siis Rosenkilde ym. (2010) tutkimuksen tuloksia ja voidaankin todeta, että levon rasva-aineenvaihdunnan perusteella voidaan ennustaa kuormituksen aikana tapahtuvaa rasva-aineenvaihduntaa ja henkilöiden välillä on eroja rasva-aineenvaihdunnan vilkkaudessa sekä levossa että kuormituksessa.

Yksi tämän tutkimuksen päätarkoituksista oli selvittää, mitkä eri tekijät vaikuttavat rasva-aineenvaihduntaan levossa ja kuormituksessa. Tulosten perusteella voidaan todeta, että henkilöt, jotka käyttävät levossa enemmän rasvoja, käyttävät myös kuormituksessa enemmän rasvoja tai päinvastoin. Syitä siihen, miksi ihmisten välillä on eroja rasva-aineenvaihdunnassa, voidaan pyrkiä selittämään tämän tutkimuksen tuloksilla. Tulosten perusteella rasva-aineenvaihdunta näyttäisi olevan perinnöllistä, sillä kaksosten välillä ei ollut juuri mitään eroa rasvan hapettumisessa kuormituksen ja levon aikana. Tulosta vahvistaa se, että tässä tutkimuksessa vertailtiin liikunnallisesti eroavia kaksosia eikä heillä siltikään löytynyt merkittäviä eroja rasva-aineenvaihdunnassa. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että myös rasvaton massa on periytyvä ominaisuus. Koska rasvaton massa oli ainoa muuttuja, joka erosi levossa vähän rasvoja hapettavan ja paljon rasvoja hapettavan ryhmän välillä (52 ± 4 vs. 58 ± 4 kg, $p=0,041$), voidaan päätellä, että rasvaton massa on yksi merkittävimmistä vaikuttajista rasvan hapettumiseen. Koska tulokset osoittavat vahvasti, että perintötekijät vaikuttavat rasvattoman massan määrään ja rasvaton massa määrittelee rasva-aineenvaihdunnan vilkkautta, voidaan päätellä, että perintötekijät määrittelevät genotyypin mukaiset luonteenomaiset rajat rasva-aineenvaihdunnan vilkkaudelle (kuva 20). Rasva-aineenvaihduntaan vaikuttaa kuitenkin hyvin moni asia, mutta vain perimän sallimissa rajoissa.

Tämäkin tutkimus sisältää erilaisia virhelähteitä. Koska ravitsemuksen on havaittu vaikuttavan rasvan hapettumiseen levossa ja kuormituksessa, pyrimme kontrolloimaan tämän tekijän. Tutkittavien tuli noudattaa normaalia ruokavaliota vähintään kaksi vuorokautta ennen tutkimuksiin saapumista ja olla syömättä ja juomatta kahvia kaksi tuntia ennen rasva-aineenvaihdunnan määrittämistä kuormituksen aikana. Lepomittauksia edelsi 12 tunnin paasto. Tästä huolimatta koehenkilöiden normaaliksi kutsuttua ruokavaliota ei kontrolloitu tarkasti tutkimusta edeltäviltä päiviltä, joka tarkoittaa sitä, että normaali ruokavalio on kunkin koehenkilön itsensä määrittämä. Koska kuormitusta edeltävä 2 tuntia ja lepomittauksia edeltävä 12 tuntia oli kontrolloitu kuitenkin tarkasti (paasto), voidaan ravitsemuksen vaikutus tuloksiin arvioida pieneksi.

Maksimaaliseen hapenottoon ja fatmax-pisteen suhteelliseen intensiteettiin vaikuttaa selkeästi se, kuinka maksimiin kuormitusta jatkettiin. Kuormitusta jatkettiin aina niin kauan kunnes hengitysosamäärä oli yli 1,1 ja koehenkilön subjektiiviset tuntemukset (RPE) olivat lähellä maksimia. Varsinainen kuormituksen lopetus tapahtui täten koe-

henkilön tai kuormitusta valvovan lääkärin päätöksestä. Nämä kriteerit täyttyivät kaikkien koehenkilöiden osalta, mutta tilanteissa, joissa lääkäri teki päätöksen kuormituksen lopettamisesta, ei voida sanoa varmasti, että maksimi oli saavutettu. Kuitenkin hengitysosamäärä 1,1 kuvastaa, että energiantuotto tapahtuu pääosin ilman happea, jolloin maksimaalisen hapenoton voidaan olettaa löytyneen.

Kolmas mittauksiin liittyvä virhelähde on mittaustilanteen vaikutus tuloksiin. Tämä voi liittyä niin liikuntahaastatteluun kuin kuormitus- ja lepomittauksiinkin. Liikuntahaastattelussa on tärkeää, että koehenkilö muistelee mahdollisimman tarkkaan 12 kk liikuntaaktiivisuutensa. Koska kyseessä on kyselytutkimus, on otettava huomioon, että tulos perustuu koehenkilön muistin varaan ja luottamukselliseen ilmapiiriin kyselyhetkellä. Rasitustestin aikana tuloksiin voi vaikuttaa mm. hengityskaasujen keräystä varten asetettu maski, joka voi häiritä hieman hengitystä ja aiheuttaa hyperventilaatiota. Maski pyrittiin kuitenkin asettelemaan mahdollisimman hyvin koehenkilölle ja tarkistimme, että koehenkilö pystyy hengittämään normaalisti. Hengitykseen liittyvä virhelähde on myös lepoinaenvaihduntamittauksen yhteydessä mahdollinen, sillä mittaustilanne voi tuntua koehenkilöstä jännittävä, jolloin hengitys voi olla kiihtynyttä. Jokainen koehenkilö saavutti kuitenkin vakaan tilan hengityskaasujen suhteen, joten tämä ei oletettavasti vaikuta suuresti tuloksiin.

Jatkossa olisi mielenkiintoista tutkia tarkemmin syitä, miksi perimä näyttäisi vaikuttavan rasva-aineenvaihduntaan niin suurelta osalta. Koska rasvaton massa liittyy selkeästi rasva-aineenvaihdunnan vilkkauteen, olisi mielenkiintoista tutkia tarkemmin lihastasolla liikunnallisesti eroavien identtisten kaksosten lihassolujakaumia.

Yhteenvetona voidaan todeta, että henkilöt, jotka käyttävät levossa enemmän rasvoja, käyttävät myös kuormituksessa enemmän rasvoja tai päinvastoin. Kuten tämän tutkimuksen yhteenvetokuvasta 20 voidaan havaita, rasvaton lihasmassa, joka on perimän määrittämä, selittää erot rasva-aineenvaihdunnassa. Johtopäätöksenä voidaankin sanoa, että perintötekijät määrittävät rasva-aineenvaihdunnan vilkkauden. Tähän voidaan pyrkiä vaikuttamaan eri tekijöillä kuten kestävyysharjoittelulla, mutta vain perimän sallimissa rajoissa.



KUVA 20. Tutkimuksen johtopäätökset: perimä määrittelee rasvattoman massan määrän, joka määrittää edelleen rasvan hapettumisen vilkkauden. Täten perimä määrittää rasvan hapettumisen tason sekä levossa että kuormituksessa.

9 LÄHTEET

- Acheson, K.J., Schutz, Y., Bessard, T., Anantharaman, K., Flatt, J.P. & Jequier, E. 1998. Glycogen storage capacity and de novo lipogenesis during massive carbohydrate overfeeding in man. *American Journal of Clinical Nutrition* 48, 240-247.
- Achten, J., Gleeson, M. & Jeukendrup, A.E. 2002. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 34 (1), 92-97.
- Achten, J., Venables, M.C. & Jeukendrup, A.E. 2003. Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *Metabolism*, 52 (6), 747-752.
- Achten, J. & Jeukendrup, A.E. 2003a. The effect of pre-exercise carbohydrate feedings on the intensity that elicits maximal fat oxidation. *Journal of Sports Sciences*, 1 (12), 1017-1024.
- Achten, J. & Jeukendrup, A.E. 2003b. Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *International Journal of Sports Medicine*, 24 (8), 603-608.
- Achten, J & Jeukendrup, A.E. 2004. Optimizing fat oxidation through exercise and diet. *Nutrition*, 20 (7), 716-727.
- Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Herrmann, S.D., Meckes, N., Basset, D.R. Jr, Tudor-Locke, C., Greer, J.L., Vezina, J., Whitt-Glover, M.C. & Leon, A.S. 2011. Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(8), 1575-1581.
- Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Leon, A.S., Jacobs, D.R. Jr, Montoye, H.J., Sallis, J.F. & Paffenbarger, J.R. 1993. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25(1), 71-80.
- Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Whit, M.C., Irwin, M.L., Swartz, A.M., Strath, S.J., O'Brien, W.L., Basset, D.R. Jr, Schmitz, K.H., Emplaincourt, P.O., Jacobs, D.R. Jr & Leon, A.S. 2000. Compendium of Physical Activities: An Update of Activity Codes and MET intensities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(9 Suppl): S498-504.

- Astrup, A., Buemann, B., Western, P., Toubro, S., Raben, A. & Christensen, N.J. 1994. Obesity as an adaptation to a high-fat diet-evidence from a cross-sectional study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 59, 350-355.
- Batterham, M., Cavanagh, R., Jenkins, A., Tapsell, L., Plasqui, G. & Clifton, P. 2008. High-protein meals may benefit fat oxidation and energy expenditure in individual with higher body fat. *Nutrition & Diabetes*, 65, 246-252.
- Blaak, E. 2001. Gender differences in fat metabolism. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 4, 499-502.
- Blaak, E.E. & Saris, W.H.M. 2002. Substrate oxidation, obesity and exercise training. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology and Metabolism*, 16(4), 667-678.
- Bogdanis, G.C., Vangelakoudi, A. & Maridaki M. 2008. Peak fat oxidation rate during walking in sedentary overweight men and women. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7, 525-531.
- Borg G. 1970. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 2(2), 92-98.
- Bouchard, C., Malina, R.M. & Perusse, L. 1997. Genetics of fitness and physical performance, Champaign, IL: Human Kinetics.
- Boyadjiev, N. 2004. Adaptation to submaximal physical training. *Review. Kinesiology*, 36 (2), 154-164.
- Brouwer, E. 1957. On simple formulae for calculating the heat expenditure and the quantities of carbohydrate and fat oxidized in metabolism of men and animals, from gaseous exchange. (oxygen and carbonic acid output) and urine-N. *Acta Physiologica et pharmacologica Neerlandica*, 6, 795-802.
- Calles-Escandón, J., Arciero, P.J., Gardner, A.W., Bauman, C. & Poehlman, E.T. 1995. Basal fat oxidation decreases with aging in women. *Journal of Applied Physiology*, 78, 266-271.
- Calles-Escandón, J., Goran, M.I., O'Connell, M., Nair, K.S. & 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(33), E1009-E1014.
- Coyle, E.F., Jeukendrup, A.E., Wagenmakers, A.J.M. & Saris, W.H.M. 1997. Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise. *American Journal of Physiology*, 273, 268-275 .

- Faraj, M., Jones, P., Sniderman, A.D. & Cianflone, K. 2001. Enhanced dietary fat clearance in postobese women. *Journal of Lipid Research*, 42(4), 571-580.
- Ferrannini, E. 1988. The theoretical bases of indirect calorimetry: a review. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 37 (3), 287-301.
- Frayn, K.N. 1983. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *Journal of Applied Physiology*, 55, 628-634.
- Goedecke, J.H., Gibson, A.C., Grobler, L., Collins, M., Noakes, T.D. & Lambert, E.V. 2000. Determination of variability in respiratory exchange ratio at rest and during exercise in trained athletes. *American Journal of Physiology, Endocrinology and Metabolism*, 279, 1325-1334.
- González-Haro, C., Galilea, P.A, González-de-Suso, J.M., Drobnic, F & Escanero, J.F. 2007. Maximal lipidic power in high competitive level triathletes and cyclists. *Journal of Sports Medicine*, 41, 23-28.
- Guyton, A. & Hall, J. 2001. *Textbook of medical physiology*. 10. painos. W.B. SAUNDERS, Pennsylvania.
- Hawley, J.A., Brouns F. & Jeukendrup, A.1998. Strategies enhance fat utilisation during exercise. *Sports and Medicine*, 25 (4), 241-257.
- Horber, F.F., Gruber, B., Thomi, F., Jensen, E.X. & Jaeger, P. 1997. Effect of sex and age on bone mass, body composition and fuel metabolism in humans. *Nutrition*, 13(6), 524-534.
- Jacobson, T.L., Febbraio, M.A., Arkininstall M.J. & Hawley, A. 2001. Effect of caffeine coingested with carbohydrate or fat on metabolism and performance in endurancetrained men. *Experimental Physiology*, 86 (1), 137-142.
- Jeukendrup, A,E. 1997. Aspects of carbohydrate and fat metabolism during exercise. Maastrichtin Yliopisto. Väitöskirja.
- Jeukendrup, A.E. & Achten, J. 2001. Fatmax: A new concept to optimize fat oxidation during exercise? *European Journal of Sport Science*, 1 (5), 1-5.
- Jeukendrup, A.E. & Achten, J. 2004. Sport nutrition: An introduction to energy production and performance. Champaign, IL, Human Kinetics, 35-38; 45-46.
- Jeukendrup, A.E. & Wallis, G.A. 2005. Measurement of Substrate Oxidation During Exercise by Means of Gas Exchange Measurements. *International Journal of Sports and Medicine*, 25 (1), 528-537.

- Jeukendrup, A.E., Saris W.H.M. & Wagenmakers A.J.M. 1998. Fat metabolism during exercise: a review. Part I: Fat mobilization and muscle metabolism. *International Journal of Sports and Medicine*, 19 (4), 231-244.
- Jequier, E. 1994. Carbohydrates as a source of energy. *American Journal of Clinical Nutrition*, 59, 682-685.
- Kang, J., Hoffman, J.R., Ratamess, N.A., Faigenbaum, A.D., Falvo, M. & Wendell, M. 2007. Effect of exercise intensity on fat utilization in males and females. *Sports Medicine*, 15 (3), 175-188.
- Kang, J., Rashti, S.L., Tranchina, C.P., Ratamess, N.A., Faigenbaum, A.D. & Hoffman, J.R. 2009. Effect of preceding resistance exercise on metabolism during subsequent aerobic session. *European Journal of Applied Physiology*, 107(1), 43-50.
- Knechtle, B., Müller, G., Willmann, F., Kotteck, K., Eser, P. & Knecht, H. 2004. Fat oxidation in men and women endurance athletes in running and cycling. *International Journal of Sports and Medicine*, 25 (1), 38-44.
- Larson, D.E., Ferraro, R.T., Robertson, D.S. & Ravussin, E. 1995. Energy metabolism in weight-stable postobese individuals. *American Journal of Clinical Nutrition*, 62(4), 735-739.
- Leskinen, T., Rinnankoski-Tuikka, R., Rintala, M., Seppänen-Laakso, T., Pöllänen, E., Alen, M., Sipilä, S., Kaprio, J., Kovanen, V., Rahkila, P., Oresic, M., Kainulainen, H. & Kujala, U. 2010. Differences in muscle and adipose tissue gene expression and cardio-metabolic risk factors in the members of physical activity discordant twin pairs. *Plos One*, 5(9), e12609.
- Leskinen, T., Sipilä, S., Alen, M., Cheng, S., Pietiläinen, K.H., Usenius, J-P., Suominen, H., Kovanen, V., Kainulainen, H., Kaprio, J., Kujala, U.M. 2009. Leisure time physical activity and high-risk fat: A longitudinal population-based twin study. *International Journal of Obesity*, 33, 1211-1218.
- McArdle, W.D., Katch, F.I & Katch, V.L. 2001. *Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance*. 5. painos. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 18-29.
- McArdle, W.D., Katch, F. & Katch, V. 2007. *Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance*. 6. painos. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.

- Melanson, K.J., Saltzman, E., Russell, R.R. & Roberts, S.B. 1997. Fat oxidation in response to four graded energy challenges in younger and older women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 66, 860-866.
- Melzer, K. 2011. Carbohydrate and fat utilization during rest and physical activity. *The European E-journal of Clinical Nutrition and Metabolism*, 6, 45-52.
- Meyer, T., Gäbler, N. & Kindermann, W. 2007. Determination of "Fat_{max}" with 1 h cycling protocols of constant load. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 32 (2), 249-256.
- Nagy, T.R., Goran, M.I., Weinsier, R.L., Toth, M.J., Schutz, Y. & Poehlman, E.T. 1996. Determinants of basal fat oxidation in healthy Caucasians. *Journal of Applied Physiology*, 80(5), 1743-1748.
- Pasman, W.J., Van Baak, M. A., Jeukendrup, A. E. & De Haan, A. 1995. The Effect of Different Dosages of Caffeine on Endurance Performance Time. *International Journal of Sports and Medicine*, 16 (4) 225-230.
- Péronnet, F. & Massicotte, D. 1991. Table of nonprotein respiratory quotient: An update. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 16 (1), 23-29.
- Pérez-Martin, A., Dumortier, M., Raynaud, E., Brun, J.F., Fedou, C., Bringer, J. & Mercier, J. 2001. Balance of substrate oxidation during submaximal exercise in lean and obese people. *Diabetes & Metabolism*, 27, 466-474.
- Potteiger, J.A., Krik, E.P., Jacobsen, D.J & Donnelly, J.E. 2008. Changes in resting metabolic rate and substrate oxidation after 16 months of exercise training in overweight adults. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18, 79-95.
- Riddel, M.C. 2008. The endocrine response and substrate utilization during exercise in children and adolescents. *Journal of Applied Physiology*, 105 (2), 725-733.
- Rosenkilde, M., Nordby, P., Nielsen, L.B., Stallknecht, B.M. & Helge, J.W. 2010. Fat oxidation at rest predicts peak fat oxidation during exercise and metabolic phenotype in overweight men. *International Journal of Obesity*, 34, 871-877.
- Salonen, J.T. & Lakka, T. 1987. Assessment of physical activity in population studies – validity and consistency of the methods in the Kuopio ischemic heart disease risk factor study. *Scandinavia. Journal of Sports Science* 9(3):89-95.

- Schutz, Y., Flatt, J.P. & Jequier, E. 1989. Failure of dietary fat intake to promote fat oxidation: a factor favoring the development of obesity. *American Journal of Clinical Nutrition*, 50, 307-314.
- Schutz, Y., Tremblay, A., Weinsier, R.L. & Nelson, K.M. 1992. Role of fat oxidation in the long-term stabilization of body weight in obese women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 55, 670-674.
- Sial, S., Coggan, A.R., Carroll, R., Goodwin, J. & Klein, S. 1996. Fat and carbohydrate metabolism during exercise in elderly and young subjects. *American Journal of Physiology*, 271 (6), 983-989.
- Sidossis, L.S., Stuart, C.A., Shulman, G.I., Lopaschuk, G.D. & Wolfe, R.R. 1996. Glucose plus insulin regulate fat oxidation by controlling the rate of fatty acid entry into the mitochondria. *Journal of Clinical Investigation*, 98, 2244-2250.
- Solomon, T.P.J., Marchetti, C.M.M., Krishnan, R.K., Gonzalez, F. & Kiwan, J.P. 2008. Effects of aging on basal fat oxidation in obese humans. *Metabolism*, 57 (8), 1141-1147.
- Stepro, N.K., Carey, A.L., Staudacher, H.M., Cummings, N.K., Burke, L.M. & Hawley, J.A. 2002. Effect of short-term fat adaptation on high-intensity training. *Journal of Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (3), 449-455.
- 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.
- Terada, S., Tabata, I., Higuchi, M. 2004. Effect of High Intensity Intermittent Swimming Training on Fatty Acid Oxidation Enzyme Activity in Rat Skeletal Muscle. *Japanese Journal of Physiology*, 54, 47-52.
- Toth, M.J., Gardner, A.W., Arciero, P.J., Calles-Escandón, J. & Poehlman, E.T. 1998. Gender differences in fat oxidation and sympathetic nervous system activity at rest and during submaximal exercise in older individuals. *Clinical Science*, 95, 59-66.
- Turpeinen, J.-P., Leppävuori, J., Heinonen, O.J., Kaila, K., Salo, J., Lilja, M. & Kesäniemi, Y.A. 2006. Muscle fiber type I influences lipid oxidation during low-intensity exercise in moderately active middle-aged men. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 16 (2), 134-140.

- 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, 160–167.
- Wilmore, J. H. & Costil, D.L. 1994. *Physiology of sport and exercise*. 1.painos. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 34-36.
- Zunquin, G., Theunynck, D., Sesboüé, B., Ashan, P. & Bouglé, D. 2009. Comparison of fat oxidation during exercise in lean and obese pubertal boys: clinical implications. *British Journal of Sports Medicine*, 43 (11), 869-870.
- Zurlo, F., Lillioja, S., Esposito-Del Piente A., Nyomba, B.L., Raz, I., Saad, M.F., Swinburn, B.A., Knowler, W.C., Bogardus, C. & Ravussin, E. 1990. Low ratio of fat to carbohydrate oxidation as predictor of weight gain: study of 24-h RQ. *American Journal of Physiology*, 259, 650-657.

LIITE 1. Vapaa-ajan liikuntaharrastuksen taustatietokysely

1. Kuinka usein harrastat urheilua tai liikuntaa vapaa-aikanasi?

- 1 en lainkaan
- 2 harvemmin kuin kerran kuukaudessa
- 3 1 - 2 kertaa kuukaudessa
- 4 noin kerran viikossa
- 5 2 - 3 kertaa viikossa
- 1 4 - 5 kertaa viikossa
- 2 suunnilleen joka päivä

2. Onko harrastamasi vapaa-ajan liikunta rasittavuudeltaan suunnilleen yhtä raskasta kuin...

- 1 kävely
- 2 kävelyn ja kevyen juoksun vuorottelu
- 3 kevyt juoksu (hölkkä)
- 4 reipas juoksu

3. Kuinka kauan keskimäärin yksi vapaa-ajan liikuntakerta kestää?

- 1 alle puoli tuntia
- 2 puoli tuntia - alle tunnin
- 3 tunti - alle kaksi tuntia
- 4 kaksi tuntia tai pidempään

