

**KYLMÄSSÄ JA TERMONEUTRAALISSA YMPÄRISTÖSSÄ TEHDYN  
INTERVALLIHARJOITTELUN VAIKUTUKSET MAKSIMAALISEEN RASVOJEN  
HAPETUKSEEN**

Eelis Komppa

Liikuntafysiologian kandidaatintutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2022

## TIIVISTELMÄ

Komppa, E. 2022. Kylmässä ja termoneutraalissa ympäristössä tehdyn intervalliharjoittelun vaikutukset maksimaaliseen rasvojen hapetukseen. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, liikuntafysiologian kandidaatin tutkielma, 48 s.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, miten intervalliharjoittelu vaikuttaa maksimaaliseen rasvojen hapetuskykyyn ja sitä vastaavaan kuormitusintensiteettiin. Lisäksi selvitettiin, vaikuttaako harjoittelun toteuttaminen kylmässä tai ympäristössä mahdollisten muutosten suuntaan tai suuruuteen. Tämä opinnäytetyö toteutettiin osana FT Dominique Gagnonin (Laurentian University) tutkimusta “Lämpötilan vaikutukset mitokondrioiden oksidatiivisen fosforylaation, rasvakudoksen ja luustolihaksen aineenvaihdunnan säätelyssä: havaintoja metabolomiikasta ja transkriptomiikasta”.

Joukko terveitä miehiä ja naisia teki polkupyöräergometrilla intervalliharjoittelua seitsemän viikon ajan kahdessa ryhmässä. Toinen ryhmä harjoitteli huoneenlämmössä (25 °C) ja toinen kylmässä (0 °C). Ennen harjoittelujaksoa ja sen jälkeen tutkittavat osallistuivat antropometriin mittauksiin ja suorittivat nousujohteisen kuormitustestin, jossa kerättiin hengityskaasuaineisto maksimaalisen hapenottokyvyn (VO<sub>2</sub>max) sekä maksimaalisen rasvojen hapetuskyvyn (MFO) ja sitä vastaavan suhteellisen kuormitusintensiteetin (Fat<sub>max</sub>) määrittämiseksi. Intervention aikaansaamien muutosten löytämiseksi verrattiin tutkittuja muuttujia alku- ja lopputestien välillä. Lisäksi kylmän ympäristön mahdolliset vaikutukset intervention aikaansaamiin muutoksiin pyrittiin löytämään vertaamalla toisiinsa eri ryhmien tulosten muutoksia.

Ryhmässä, joka harjoitteli huoneenlämmössä, VO<sub>2</sub>max kasvoi keskimäärin 2,78 ± 2,81 ml/kg/min, ja MFO vastaavasti 0,10 ± 0,18 g/min. Ryhmässä, joka harjoitteli kylmässä, VO<sub>2</sub>max kasvoi keskimäärin 3,32 ± 3,57 ml/kg/min, mutta MFO ei kasvanut tilastollisesti merkitsevästi. Fat<sub>max</sub> ei muuttunut tilastollisesti merkitsevästi kummassakaan ryhmässä. Tulokset tukevat aiempia havaintoja, joiden mukaan intervalliharjoittelulla voidaan kehittää maksimaalista rasvojen hapetuskykyä, mutta merkittävien rasva-aineenvaihdunnan muutosten havaitseminen on hengityskaasujen avulla haasteellista. Harjoittelu ympäristön lämpötilalla ei tämän opinnäytetyön perusteella havaittu merkittävää vaikutusta intervalliharjoittelun aiheuttamiin rasva-aineenvaihdunnan vasteisiin.

Asiasanat: epäsuora kalorimetria, Fat<sub>max</sub>, intervalliharjoittelu, kylmä, MFO, rasvat

## KÄYTETYT LYHENTEET

ADP	adenosiinidifosfaatti
ATP	adenosiinitrifosfaatti
BMI	body mass index, painoindeksi
bpm	beats per minute, iskua minuutissa
$C_6H_{12}O_6$	glukoosi
$C_{16}H_{32}O_2$	palmitiinihappo
CHOx	hiilihydraattien hapetus
$CO_2$	hiilidioksidi
Fat <sub>max</sub>	kuormitusintensiiteetti, jolla rasvojen hapetus on maksimaalista
Fat <sub>max</sub> %	Fat <sub>max</sub> :n prosentuaalinen osuus samassa testissä määritetystä VO <sub>2</sub> max:sta
FOx	rasvojen hapetus
H <sub>2</sub> O	vesi
HIIT	high-intensity interval training, korkeatehoinen intervalliharjoittelu
MFO	maximal fat oxidation, maksimaalinen rasvojen hapetus
O <sub>2</sub>	happi
RER	respiratory exchange ratio, Hengityskaasuista mitattu tuotetun hiilidioksidin suhde kulutettuun happeen
rpm	revolutions per minute, kierrosta minuutissa
RQ	respiratory quotient, hengitysosamäärä
SIT	sprint interval training, erittäin korkeatehoinen intervalliharjoittelu
VCO <sub>2</sub>	tuotettu hiilidioksidimäärä litroina
VO <sub>2</sub>	kulutettu happimäärä litroina
VO <sub>2</sub> max	maksimaalinen hapenottokyky

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO.....	1
2	ELIMISTÖN ENERGIAVARASTOT.....	4
3	ENERGIANLÄHTEIDEN KÄYTÖN TARKASTELU HENGITYSKAASUJEN AVULLA 6	
3.1	Rasvojen ja hiilihydraattien hapetuksen reaktioyhtälöt.....	6
3.2	Rasvojen hapetuksen tunnusluvut .....	9
4	RASVOJEN KÄYTTÖ LEVOSSA JA KUORMITUKSESSA .....	10
4.1	Rasvojen käyttö matalalla intensiteetillä liikuttaessa .....	11
4.2	Rasvojen käyttö keskiraskaalla intensiteetillä liikuttaessa .....	12
4.3	Rasvojen käyttö korkealla intensiteetillä liikuttaessa.....	12
5	MUUT ENERGIANLÄHTEIDEN KÄYTTÖÖN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT AKUUTISSA KUORMITUKSESSA .....	14
5.1	Ravitsemustila .....	14
5.2	Yksilölliset tekijät.....	15
5.3	Suorituksen kesto.....	16
5.4	Kuormituksen tyyppi .....	17
6	HARJOITTELUN VAIKUTUKSET KUORMITUKSEN AIKAISEEN RASVOJEN HAPETUKSEEN .....	18
6.1	Kestävyysharjoittelun vaikutukset rasvojen käyttöön yleisesti.....	18
6.2	Intervalliharjoittelun vaikutukset rasvojen hapetukseen .....	19
7	KYLMÄALTISTUKSEN AIHEUTTAMAT FYSIOLOGISET VASTEET .....	22
7.1	Vasokonstriktio ja lihasvärinä .....	22

7.2	Muut kylmäaltistuksen aiheuttamat fysiologiset vasteet .....	23
7.3	Kylmän ympäristön aiheuttamat aineenvaihdunnan vasteet levossa ja kuormituksessa.....	25
7.4	Akuutin kylmäaltistuksen vaikutukset rasvojen käyttöön.....	26
8	TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT .....	28
9	MENETELMÄT.....	30
9.1	Tutkittavat.....	30
9.2	Koeasetelma.....	31
9.3	Aineiston keruu .....	32
9.4	Analysoitavien muuttujien määrittäminen kerätyn datan perusteella.....	33
9.5	Interventio.....	33
9.6	Tilastolliset analyysit.....	35
10	TULOKSET .....	36
10.1	VO <sub>2</sub> max .....	36
10.2	MFO .....	37
10.3	Fat <sub>max</sub> .....	38
11	POHDINTA.....	40
11.1	Tulokset aiemman tutkimusnäytön valossa.....	40
11.2	Menetelmien kriittinen tarkastelu.....	44
11.3	Johtopäätökset .....	48
	LÄHTEET .....	49

# 1 JOHDANTO

Fyysinen aktiivisuus, kuten monet muut ihmiskehossa tapahtuvat elämälle välttämättömät kemialliset reaktiot, kuluttaa energiaa, joka vapautuu pilkottaessa korkeaenergisiiä kemiallisia sidoksia sisältäviä trifosfaattimolekyylejä, pääasiassa adenosiinitrifosfaattia (ATP). ATP:a on vain pieniä määriä varastoituneena elimistöön, joten muita kemiallisia reaktioita tarvitaan jatkuvasti sen uudelleenmuodostukseen. (Melzer 2011)

Fosfokreatiinin avulla voidaan muodostaa nopeasti verrattain suuria määriä ATP:a, ja hiilihydraatteja voidaan käyttää nopeaan energiantuottoon ilman happea, kun suoritus kestää enintään muutaman minuutin. Pitempi fyysinen suoritus vaatii kuitenkin aerobista eli hapen avulla tapahtuvaa energiantuottoa. Aerobinen energiantuotto tapahtuu solujen mitokondrioissa, ja se käyttää lähtöaineinaan rasvoista, hiilihydraateista ja proteiineista erilaisissa reaktiosarjoissa muokattuja molekyylejä. (Guyton & Hall 2011, 1033) Aerobisessa energiantuotossa keskeinen reaktiosarja on Krebsin sykli, jossa hiilihydraateista, rasvoista ja aminohapoista muokattu asetyylikoentsyymi A muokataan edelleen muiksi yhdisteiksi, vapauttaen samalla vetyioneja. Vetyionit hapetetaan lopulta hapen avulla oksidatiiviseksi fosforylaatioksi kutsutussa reaktiossa, jossa vapautuva energia käytetään liittämään fosfaatti-ioneja ADP-molekyyleihin, muodostaen ATP:a. (Guyton & Hall 2011, 813-815.) Suurin osa aerobisesti tuotetusta energiasta saadaan rasvoista ja hiilihydraateista, proteiinien roolin ollessa varsin vähäinen (Coyle 1995). Yksinkertaisuuden vuoksi tässä työssä puhutaan rasvojen, hiilihydraattien ja proteiinien hapettamisesta, vaikka kyseessä onkin useita erilaisia reaktioita sisältävä reaktiosarja.

Aerobisen energiantuoton lopputuotteena syntyy vettä ja hiilidioksidia, josta suuri osa poistuu elimistöstä hengityksen kautta. Rasvojen ja hiilihydraattien erilaisista kemiallisista koostumuksista johtuen niiden hapettamisessa kuluu eri määrä happea, syntyy eri määrä hiilidioksidia ja vapautuu eri määrä energiaa massayksikköä kohti. Koska hapetukseen tarvittava happi saadaan hengitysilmosta, ja tuotettu hiilidioksidi poistuu hengityksen kautta, voidaan hengityskaasujen suhteita ja absoluuttisia arvoja tarkastelemalla selvittää, missä

suhteessa aerobisessa energiantuotossa eri energianlähteitä kulloinkin käytetään. (Jeukendrup & Wallis 2005)

Maksimaalinen hapenottookyky ( $VO_{2max}$ , ml/kg/min) tarkoittaa verenkiertoelimistön maksimaalista kykyä kuljettaa happea työskenteleviin lihaksiin (Hill ym. 1924). Kun kuormitusintensiteetti alittaa tehon, jolla  $VO_{2max}$  saavutetaan, hapen kulutuksen (ml/kg/min) ja kuormitustehon (W) välillä vallitsee positiivinen lineaarinen riippuvuus. Tällöin kuormitusintensiteetti voidaan ilmaista hapenkulutuksen arvona (ml/kg/min) tai prosentteina maksimaalisesta hapenottokyvystä (%  $VO_{2max}$ ). (Arts & Kuipers 1994) Tässä työssä  $VO_{2max}$ :n alittavista intensiteeteistä käytetään nimitystä submaksimaalinen intensiteetti. Submaksimaalisella intensiteetillä tapahtuvassa kuormituksessa lihastyöhön tarvittava energia tuotetaan pääasiassa aerobisesti hapettamalla hiilihydraatteja ja rasvoja (Krogh & Lindhard 1920), joita lihakset saavat veren glukoosista ja rasvoista sekä lihasten sisäisistä rasva- ja glykogeenivarastoista (Romijn ym. 1993). Rasvojen ja hiilihydraattien sekä niiden eri lähteiden osuuksiin energiantuotossa vaikuttavat useat tekijät, kuten ravitsemustila (Coyle ym. 1997), kehonkoostumus (Melzer 2011), sukupuoli (Venables ym. 2005), harjoitustausta (Holloszy & Coyle 1984), ympäristön lämpötila (Haman ym. 2002) sekä kuormituksen tyyppi (Filipovic ym. 2021), intensiteetti ja kesto (Romijn ym. 1993).

Rasvojen hapetus massana aikayksikköä kohti ( $FOx$ , g/min) on tehokkaampaa keskiraskaalla (esim. 65 %  $VO_{2max}$ ), kuin matalalla (esim. 25 %  $VO_{2max}$ ) tai korkealla (esim. 85 %  $VO_{2max}$ ) intensiteetillä liikuttaessa (Romijn ym. 1993). Harjoittelun seurauksena lihasten kyky tuottaa energiaa rasvojen avulla kuitenkin kasvaa (Kiens ym. 1993). Sekä matalatehoinen yhtäjaksoinen harjoittelu esimerkiksi teholla 65 %  $VO_{2max}$  (Kiens ym. 1993), että intervalliharjoittelu (Burgomaster ym. 2008) lisäävät rasvojen käyttöä laajalla intensiteettiskaalalla. Intervalliharjoittelulla tarkoitetaan harjoittelua, jossa kuormitus- ja lepojaksot vuorottelevat yksittäisen harjoituskerran sisällä, kuormitusintensiteetin ollessa verrattain korkea (Astorino & Schubert 2017).

Viimeaikaiset tutkimukset ovat antaneet viitteitä siitä, että vakioidulla intensiteetillä liikuttaessa sekä rasvojen absoluuttinen hapetus ( $FOx$ , g/min) on tehokkaampaa, ja rasvoja

hapettamalla tuotetun energian osuus energian kokonaiskulutuksesta (%) on suurempi kylmässä (0 – 5 °C), kuin huoneenlämmössä (22 – 25 °C), tai lämpimässä (> 30 °C) ympäristössä liikuttaessa (Gagnon ym. 2013a; Gagnon ym. 2020). Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, miten seitsemän viikon intervalliharjoittelujakso vaikuttaa tutkittavien maksimaaliseen rasvojen hapetukseen (MFO, g/min) ja suhteellisen hapenkulutuksena (ml/kg/min) ilmaistuun kuormitusintensiteettiin, jolla se saavutetaan (Fat<sub>max</sub>). Lisäksi pyrittiin selvittämään, onko kylmällä harjoitteluympäristöllä vaikutusta kyseisten muutosten suuntaan tai suuruuteen.



## 2 ELIMISTÖN ENERGIAVARASTOT

Lihastyöhön ja muihin solujen toimintoihin tarvittava energia päätyy elimistöön ravinnon kautta hiilihydraatteihin, rasvoihin ja proteiineihin sitoutuneena. Näiden aineiden pilkkomisessa vapautuva kemiallinen energia ei kuitenkaan ole suoraan solujen käytettävissä, vaan se sidotaan ensin adensiinitrifosfaatiksi (ATP) kutsuttuihin molekyyleihin. (Guyton & Hall 2011, 809) ATP on kemiallinen yhdiste, jota esiintyy kaikissa elimistön soluissa. Sen rakenne koostuu emäsosasta, sokeriosasta ja kolmesta toisiinsa sidoksissa olevasta fosfaattiosasta. Lihastyön vaatima energia saadaan vapautettua katkomalla ATP:n fosfaattiosien välisiä sidoksia. ATP:n pitoisuuden muutoksia puskuroi toinen fosfaattisidoksia sisältävä korkeaenerginen molekyyli, fosfokreatiini. (Melzer 2011)

Proteiinien käyttö energianlähteenä on sidoksissa proteiinien saantiin, kun taas sekä rasvojen että hiilihydraattien käyttöä säätelee pitkälti erään hiilihydraatin, glukoosin saatavuus. (Melzer 2011.) Hiilihydraatit ja rasvat ovat luurankolihasien tärkeimmät energianlähteet. (Martin & Klein 1998.) Proteiinien rooli energiantuotossa on puolestaan varsin vähäinen verrattuna rasvoihin ja hiilihydraatteihin. (Melzer 2011.) Yksinkertainen tapa kuvata eri energianlähteiden kulutusta eri tilanteissa on ilmaista kulutus massana aikayksikköä kohti (g/min). (Achten ym. 2002) Massan sijaan voidaan puhua myös ainemääristä, ja energianlähteiden kulutus voidaan suhteuttaa henkilön massaan, jolloin yksiköksi voidaan saada esimerkiksi  $\mu\text{mol/kg/min}$  (Romijn ym. 1993).

Suurin osa elimistön energiasta on varastoituneena rasvoihin kuuluvina glyserolista ja kolmesta rasvahaposta koostuvina triglyserideinä rasvakudokseen, lihaksiin ja vereen (Melzer 2011). Rasvavarastojen osuus koko kehon varastoituneesta energiasta on noin 92 – 98 % (Horowitz & Klein 2000). Martinin ja Kleinin (1998) mukaan rasvakudosta on hoikalla miehellä noin 150-200 g/kg ja hoikalla naisella vastaavasti 250-300 g/kg. Molekyyylimäärissä ilmaistuna hoikalla miehellä, jonka paino on noin 70 kg, triglyseridejä on sitoutuneina rasvakudokseen noin 17500 mmol sekä vastaavasti lihaksiin noin 300 mmol ja veriin 0,5 mmol. (Horowitz & Klein 2000.) Henkilöillä, joilla rasvan osuus kehonkoostumuksesta on 10-30 %, energiaa on sitoutuneena ihonalaiseen rasvakudokseen noin 200 – 625 MJ. Lihasten sisäisiin

rasvavarastoihin energiaa on puolestaan sitoutuneena noin 12 – 20 MJ. (Coyle 1995) Hitaat, tyypin I lihassolut sisältävät 2 – 3 kertaa enemmän triglyseridejä, kuin nopeat tyypin II lihassolut (Esséen 1977).

Rasvojen käyttö energianlähteenä edellyttää triglyseridien pilkkomista rasvahapoiksi ja glyseroliksi lipolyysiksi kutsutun hydrolyysireaktion avulla. Reaktio toimii hormonisensitiivisen lipaasin avulla, jonka aktiivisuutta puolestaan lisäävät katekoliamiinit ja inhiboi insuliini. (Horowitz & Klein 2000; Melzer 2011) Elimistön rasvavarastoista osa on herkempiä liikunnan aiheuttamalle katekoliamiinipitoisuuksien nousulle kuin toiset, ja esimerkiksi vatsan alueen ihonalaisessa rasvakudoksessa tapahtuu vakioiduilla katekoliamiinipitoisuuksilla enemmän lipolyysiä, kuin pakaran alueen rasvakudoksessa. (Martin & Klein 1998) Lipolyysissä syntynyt glyseroli siirtyy verenkiertoon, ja rasvahapot puolestaan kuljetetaan veren mukana työskenteleviin lihaksiin albumiiniin sitoutuneina. (Coyle 1995) Melzerin (2011) mukaan osa rasvahapoista kulkeutuu lihaksiin myös lipoproteiinien ja kylomikronien kuljettamina. Lihaksissa rasvahapot vapautetaan kuljetusproteiineista entsyymien avulla ja siirretään mitokondrioihin. Mitokondrioissa rasvahapot muutetaan asetyylikoentsyymi A:ksi reaktiossa, jota kutsutaan  $\beta$ -oksideaatioksi. Asetyylikoentsyymi A puolestaan toimii Krebsin syklin lähtöaineena. (Melzer 2011)

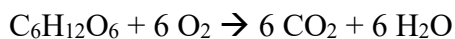
### 3 ENERGIANLÄHTEIDEN KÄYTÖN TARKASTELU HENGITYSKAASUJEN AVULLA

Eri energianlähteiden hapetusta liikunnan aikana on 1900-luvun alusta asti tutkittu hengityskaasujen perusteella (Krogh & Lindhard 1920). Jeukendrupin ja Wallisin (2005) mukaan hengitysosamäärä (RQ, Respiratory Quotient) tarkoittaa tuotetun hiilidioksidin suhdetta kulutettuun happeen kudostasolla. RER (Respiratory Exchange Ratio) puolestaan ilmaisee keuhkojen vapauttaman hiilidioksidin suhteen keuhkojen hengitysilmaasta ottamaan happeen, joten RER-arvoa voidaan käyttää RQ:n epäsuorassa arvioinnissa koko elimistön tasolla. (Jeukendrup & Wallis 2005)

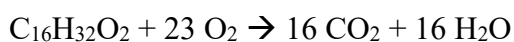
#### 3.1 Rasvojen ja hiilihydraattien hapetuksen reaktioyhtälöt

Koska rasvoilla, hiilihydraateilla ja proteiineilla on toisistaan poikkeavat kemialliset koostumukset ja niiden hapettumisella siten kulutetun hapen ja tuotetun hiilidioksidin osalta erilaiset reaktioyhtälöt, niiden osuudet energiantuotossa voidaan päätellä RER-arvon perusteella. (Jeukendrup & Wallis 2005)

Esimerkiksi hiilihydraatteihin kuuluvan glukoosin hapettuminen noudattaa seuraavaa reaktioyhtälöä:



Rasvahappoihin kuuluvan palmitiinihapon hapettuminen puolestaan esitetään reaktioyhtälönä seuraavasti:



Reaktioyhtälöistä nähdään, että jokaista hapetettua glukoosimoolia kohti elimistö käyttää kuusi moolia (134 l) happea, ja tuottaa kuusi moolia (134 l) hiilidioksidia, jolloin RQ glukoosille on  $134 / 134 = 1$ . Kun yksi mooli palmitiinihappoa hapetetaan, happea kulutetaan 23 moolia (515 l), ja hiilidioksidia tuotetaan 16 moolia (358 l), jolloin RQ palmitiinihapolle on  $358 / 515 = 0,7$ . (Jeukendrup & Wallis 2005)

Jeukendrupin ja Wallisin (2005) mukaan elimistö hapettaa energian tuottamiseksi useita erilaisia rasvoja ja hiilihydraatteja, joiden rakennekaavat ja siten reaktioyhtälöt sekä RQ:t poikkeavat toisistaan. Lisäksi erilaisia proteiineja pilkotaan aminohapoiksi, jotka edelleen deaminaation kautta muutetaan ketohapoiksi, jotka hapetetaan rasvojen ja hiilihydraattien tapaan vedeksi ja hiilidioksidiksi. Proteiinien osuuden arvioimiseksi energiantuotossa on arvioitava virtsanäytteen typpipitoisuutta sen ureapitoisuuden kautta. Mahdollisten energiantuoton lähtöaineiden suuren määrän vuoksi niiden osuuksien arvioiminen on varsin haastavaa ja vaatii useita mittauksia sekä yhtälöissä käytettäviä oletuksia, jotka heikentävät arvioiden täsmällisyyttä. Tästä syystä tutkimusta energianlähteiden käyttöä arvioivien yhtälöiden luomiseksi on tehty runsaasti. (Jeukendrup & Wallis 2005) Peronnetin ja Massicotten (1991) mukaan rasvojen hapetusta voidaan arvioida kaavalla (1) ja hiilihydraattien hapetusta puolestaan kaavalla (2).

$$(1) \text{FOx (g/min)} = 1,695 * \text{VO}_2 - 1,701 * \text{VCO}_2$$

$$(2) \text{CHOx (g/min)} = 4,585 * \text{VCO}_2 - 3,226 * \text{VO}_2$$

missä FOx (g/min) tarkoittaa rasvojen hapetusta, CHOx (g/min) tarkoittaa hiilihydraattien hapetusta, VCO<sub>2</sub> (l/min) tarkoittaa mitattua hiilidioksidin tuottoa ja VO<sub>2</sub> (l/min) tarkoittaa mitattua hapen kulutusta. (Peronnet & Massicotte 1991.) Jeukendrupin ja Wallisin (2005) mukaan valittavan ennusteyhtälön tarkkuuteen vaikuttavat oletukset siitä, mitä hiilihydraatteja, rasvoja ja aminohappoja elimistössä hapetetaan. Hiilihydraattien käytön arvioinnissa oletuksilla on verrattain suuri merkitys, sillä riippuen käytettävästä ennusteyhtälöstä arviot hiilihydraattien käytöstä voivat vaihdella jopa 6 %. Sen sijaan rasvojen käytön osalta eri ennusteyhtälöiden antamat arviot vaihtelevat vähemmän. (Jeukendrup & Wallis 2005.)

Jeukendrup ja Wallis (2005) pyrkivät muokkaamaan Peronnetin ja Massicotten 1991 kehittämää rasvojen ja hiilihydraattien käytön laskukaavaa paremmin liikunnan aikaisiin mittauksiin sopivaksi muokkaamalla oletusta käytettävien hiilihydraattien koostumuksesta. Mikäli käytettävän hiilihydraatin oletetaan olevan glykogeenia, hiilihydraattien osuus energiantuotosta on laskennallisesti noin 10 % alhaisempi, kuin jos käytettävän hiilihydraatin oletetaan olevan glukoosia. Tästä syystä Jeukendrup ja Wallis (2005) olettivat laskukaavassaan, että kuormitusintensiteetin ollessa alle 50 % VO<sub>2</sub>max, 50 % käytettävästä hiilihydraatista on glukoosia ja 50 % glykogeenia, kun taas intensiteetin ollessa yli 50 % VO<sub>2</sub>max, 20 % käytettävästä hiilihydraatista on glukoosia ja 80 % glykogeenia. Näiden oletusten pohjalta Jeukendrup ja Wallis (2005) johtivat hiilihydraattien hapetukselle seuraavat yhtälöt:

$$(3) \text{ CHO}_x \text{ (g/min)} = 4,344 * \text{ VCO}_2 - 3,061 * \text{ VO}_2 - 0,40 * n$$

$$(4) \text{ CHO}_x \text{ (g/min)} = 4,210 * \text{ VCO}_2 - 2,962 * \text{ VO}_2 - 0,40 * n$$

$$(5) \text{ FO}_x \text{ (g/min)} = 1,695 * \text{ VO}_2 - 1,701 * \text{ VCO}_2 - 1,77 * n$$

missä n (g/min) tarkoittaa proteiinin hapetuksesta aiheutuvaa typen eritystä, joka voidaan arvioida tai mitata virtsasta. Yhtälöä (3) käytetään hiilihydraatin hapetuksen määrittämiseen kuormitusintensiteetin ollessa alle 50 % VO<sub>2</sub>max, ja yhtälöä (4) käytetään kuormitusintensiteetin ollessa yli 50 % VO<sub>2</sub>max. Lisäksi Jeukendrup ja Wallis (2005) suosittelivat, että muutettaessa hiilihydraattien kulutus muotoon kcal/min, kuormitusintensiteetin ollessa alle 50 % VO<sub>2</sub>max kerrotaan hiilihydraattien hapetus (g/min) arvolla 3,95 kcal/g, ja kuormitusintensiteetin ollessa yli 50 % VO<sub>2</sub>max, arvolla 4,07 kcal/g. Rasvojen hapetuksen arviointiin suositellaan käytettäväksi yhtälöstä (1) muokattua yhtälöä (5), jossa on lisäksi huomioitu proteiinien hapetus. (Jeukendrup & Wallis 2005.)

Jeukendrup ja Wallis (2005) esittivät, että hengityskaasuihin perustuvat arviot hiilihydraattien ja rasvojen käytöstä ovat päteviä ainoastaan silloin, kun elimistön bikarbonaattipooli on stabiili. Toisin sanoen korkeilla kuormitusintensiteeteillä tapahtuva happamuuden kertyminen, sen puskurointi bikarbonaatti-ionien avulla ja poisto hiilidioksidina hengityksen kautta kasvattavat mitattua uloshengitetyn hiilidioksidin määrää, jolloin hengityskaasujen perusteella arvioitu hiilihydraattien käyttö on todellista korkeampi. (Jeukendrup & Wallis 2005)

### 3.2 Rasvojen hapetuksen tunnusluvut

Romijn ym. (1993) havaitsivat epäsuoran kalorimetrian avulla, että kestävyysharjoitelleilla koehenkilöillä rasvojen avulla tuotetun energian osuus energian kokonaiskulutuksesta oli kehon massaan suhteutettuna (cal/kg/min) suurempi keskiraskaalla (65 %  $VO_{2max}$ ), kuin matalalla (25 %  $VO_{2max}$ ) tai korkealla (85 %  $VO_{2max}$ ) intensiteetillä liikuttaessa. (Romijn ym. 1993.) Achtenin ja Jeukendrupin (2001) käyttämässä käsitteistössä maksimaalinen rasvojen hapetus (MFO, maximal fat oxidation) tarkoittaa suurinta rasvojen hapetusta, jonka henkilö kykenee saavuttamaan. Kuten energianlähteiden kulutus yleensäkin, se voidaan ilmaista absoluuttisena massana tai ainemääränä aikayksikköä kohti (g/min tai mmol/min) tai suhteuttaa tämän lisäksi henkilön kokonaismassaan tai rasvattomaan massaan (g/kg/min tai mmol/kg/min).

Käsitteellä  $Fat_{max}$  puolestaan tarkoitetaan sitä kuormitusintensiteettiä, jolla MFO saavutetaan.  $Fat_{max}$  voidaan ilmaista esimerkiksi hapenkulutuksena (ml/kg/min), jolloin se voidaan lisäksi ilmaista prosentuaalisena osuutena  $VO_{2max}$ :sta (Achten & Jeukendrup 2001), josta tässä työssä käytetään merkintää  $Fat_{max}\%$ . Toisinaan  $Fat_{max}$ :n tilalla käytetään käsitettä crossover point (Purdom ym. 2018), joka alkuperäisessä merkityksessään kuitenkin viittaa siihen kuormitusintensiteettiin, jota alemmilla intensiteeteillä rasvat, ja korkeammilla vastaavasti hiilihydraatit, toimivat pääasiallisena energianlähteenä (Brooks & Mercier 1994). Käytännössä  $Fat_{max}$  ja crossover point kuitenkin havaitaan useimmiten samanaikaisesti (Venables ym. 2005).

## 4 RASVOJEN KÄYTTÖ LEVOSSA JA KUORMITUKSESSA

Matalilla – keskiraskailla intensiteeteillä liikuttaessa energiantuotto tapahtuu pääasiassa aerobisesti (Brooks & Mercier 1994). Sekä levossa että liikunnan aikana elimistön pääasialliset energianlähteet ovat rasvat ja hiilihydraatit, proteiinien osuuden ollessa huomattavasti vähäisempi (Melzer ym. 2011). Proteiineista saatavien aminohappojen käyttö energiantuotossa on tiiviisti sidoksissa niiden saantiin (Melzer 2011), eikä liikunnalla tai sen intensiteetillä ole merkittävää vaikutusta niiden käyttöön (Brooks & Mercier 1994). Hiilihydraattien ja rasvojen käyttöä puolestaan säätelee glukoosin saatavuus (Melzer 2011). Suuri veren glukoosipitoisuus edesauttaa hiilihydraattien ja vähentää vastaavasti rasvojen käyttöä energianlähteenä (Melzer 2011).

Keskimäärin ihmisen kokonaisenergiankulutuksesta noin 60 – 70 % muodostuu lepoaineenvaihdunnasta. Lisäksi kokonaisenergiankulutuksesta noin 10 % kuluu ruoansulatukseen, ravintoaineiden pilkkomiseen ja käsittelyyn sekä noin 20-30 % fyysiseen aktiivisuuteen. (Melzer 2011) Levossa paastonneessa tilassa aivot, maksa, sydän ja munuaiset kuluttavat energiasta yhteensä noin 60 %. Luurankolihakset puolestaan kuluttavat samassa tilassa energiasta vain noin 20 %. Liikunnan aikana lihasten tekemä työ voi kuitenkin moninkertaistaa koko elimistön energiankulutuksen. (Martin & Klein 1998)

Levossa verenkiertoon vapautuu tavallisesti enemmän rasvahappoja, kuin mitokondriot hapettavat niitä, minkä vuoksi suuri osa rasvahapoista esteröityy triglyserideiksi pääasiassa maksan toimesta. (Horowitz & Klein 2000; Melzer 2011) Paastonneessa tilassa levossa keskimäärin noin puolet verenkiertoon vapautuneista rasvahapoista esteröityy takaisin triglyserideiksi, ja rasvojen osuus energiantuotosta on noin 60 %. (Martin & Klein 1998)

Rasvakudoksen ja lihasten sisäisten rasvavarastojen lipolyysiä sekä rasvojen hapetusta mitokondrioissa säätelevät ilmeisesti erilaiset mekanismit, minkä vuoksi niiden aktiivisuudet reagoivat kuormitusintensiteettiin eri tavoin. Liikunnan intensiteetin kasvaessa veren rasvahappojen käyttö vähenee, kun taas lihasten sisäisten rasvavarastojen käyttö ensin kasvaa, saavuttaa korkeilla intensiteeteillä tasanteen, kääntyy laskuun ja lopulta lakkaa intensiteetin

edelleen kasvaessa. (Romijn ym. 1993) Koska rasvojen hapetus on verrattain hidas prosessi, ei pelkkiä rasvoja hapettamalla voida liikkua korkealla intensiteetillä, vaan siihen tarvitaan myös hiilihydraatteja. (Coyle 1995)

#### **4.1 Rasvojen käyttö matalalla intensiteetillä liikuttaessa**

Purdomin ym. (2018) mukaan rasvat toimivat pääasiallisena energianlähteenä liikuttaessa alle 65 % VO<sub>2</sub>max teholla. Paastonneessa tilassa kevyessä, intensiteetiltään noin 25 % VO<sub>2</sub>max liikunnassa, kuten kevyessä kävelyssä (noin 4 – 5 km/h nopeudella), lähes kaikki tarvittava energia tuotetaan rasvojen avulla (Coyle 1995; Melzer 2011). Yli 85 % käytettävistä rasvoista saadaan tällöin veren vapaista rasvahapoista. Kuormitusintensiteetin ollessa matala – keskiraskas, eli noin 25 – 65 % VO<sub>2</sub>max, rasvojen hapetus on lepotilaan verrattuna noin 5 – 10 -kertaista. (Martin & Klein 1998.) Lisääntyneeseen rasvojen käyttöön vaikuttavat osaltaan energiantarpeen ja rasvahappojen saatavuuden kasvu lihaksissa. (Horowitz & Klein 2000) Rasvahappojen saatavuuden kasvu johtunee osin tehostuneesta verenkierrosta, joka on rasvakudoksessa noin kaksinkertaista ja voi olla työskentelevissä lihaksissa jopa 25-kertaista lepotilaan verrattuna. Mikäli rasvakudoksesta rasvahappoja poistava verenkierto ei kiihtyisi, veren rasvahappopitoisuus voisi paikallisesti nousta kiihtyneen lipolyysin johdosta mahdollisesti toksiselle tasolle. (Martin & Klein 1998)

Myös lipolyysi kiihtyy kuormituksen aikana  $\beta$ -adrenergisten reseptorien stimuloinnin seurauksena, ja rasvakudoksessa sen aktiivisuus on 25 – 65 % VO<sub>2</sub>max intensiteetillä liikuttaessa noin viisinkertaista lepotilaan verrattuna. Lisäksi liikunnan aikainen verenkierron katekoliamiinipitoisuuksien nousu ja insuliinipitoisuuden lasku tehostavat lipolyysiä. (Martin & Klein 1998) Rasvakudoksen lipolyysi on tehokkainta matalilla kuormitusintensiteeteillä, vaikka intensiteetin noustessa veren katekoliamiinipitoisuudet edelleen nousevat. Sen sijaan lihasten sisäisiä triglyseridejä ei matalatehoisessa kuormituksessa juurikaan käytetä. (Romijn ym. 1993)



## 4.2 Rasvojen käyttö keskiraskaalla intensiteetillä liikuttaessa

Kun liikunnan intensiteetti on keskiraskas (noin 65 %  $VO_{2max}$ ), veren rasvahappojen käyttö lihaksissa vähenee, ja lihasten sisäisten triglyseridien käyttö puolestaan tehostuu. Tällöin hapetettavista rasvahapoista noin puolet saadaan plasmasta ja puolet lihasten sisäisistä varastoista. (Melzer 2011) MFO saavutetaan yleensä keskiraskaalla intensiteetillä liikuttaessa. (Romijn ym. 1993) Tyypillisesti MFO on välillä 0,17 – 1,27 g/min, ja voi joissain tapauksissa ylittää 1,5 g/min (Purdom ym. 2018).

Esimerkiksi Achten ja Jeukendrup (2003) havaitsivat pyöräilyä harrastavilla miehillä MFO:n olevan keskimäärin 0,52 g/min, vastaavan suhteellisen kuormitusintensiteetin ( $Fat_{max}$ ) ollessa keskimäärin 62,5 %  $VO_{2max}$ . Venables ym. (2005) puolestaan kartoittivat rasvojen hapetuskykyä suuressa poikkileikkaustutkimuksessa (n=300), ja havaitsivat MFO:n olevan keskimäärin 0,46 g/min,  $Fat_{max}$ :n ollessa 48,3 %  $VO_{2max}$ . (Venables ym. 2005)

## 4.3 Rasvojen käyttö korkealla intensiteetillä liikuttaessa

Kuormitusintensiteetin ollessa korkea (yli 70 % maksimaalisesta hapenottokyvystä), rasvojen käyttö on paitsi energiankulutukseen suhteutettuna, myös absoluuttisesti vähäisempää, kuin matalalla – keskiraskaalla intensiteetillä (alle 65 %  $VO_{2max}$ ) liikuttaessa (Horowitz & Klein 2000). Romijnin ym. (1993) mukaan rasvahappojen vapautuminen verenkiertoon vähenee progressiivisesti kuormitusintensiteetin noustessa 65 %:sta 85 %:iin maksimaalisesta hapenottokyvystä. Samaan aikaan lihasten sisäisten rasvarastojen käyttö näyttää pysyvän muuttumattomana, ja rasvahappojen kokonaishapetus lihaksissa vähenee. (Romijn ym. 1993)

Muutos matalatehoisempaan liikuntaan verrattuna selittyy vähentyneellä veren rasvahappojen saatavuudella työskentelevissä lihaksissa (Melzer 2011). Ilmeisesti korkeatehoisen liikunnan

aikana rasvakudoksen verenkierto heikkenee, ja siten rasvahappojen kuljetukseen tarvittavan albumiinin saatavuus alenee, jolloin rasvahappoja päätyy vähemmän systeemiseen verenkiertoon ja työskenteleville lihaksille (Coyle 1995). Lipolyysin aktiivisuus ei kuitenkaan vähene kuormitusintensiteetin kasvaessa (Melzer 2011).

Lisäksi pienempi vaikutus rasvojen käytön vähenemiseen intensiteetin kasvaessa näyttäisi olevan lihasten alentuneella rasvan hapetuskapasiteetilla. Taustalla on mahdollisesti kiihtyneen hiilihydraattien käytön aiheuttama Krebsin syklin välituotteiden kertyminen, joka häiritsee rasvahappojen kuljetusta mitokondrioihin. (Brooks & Mercier 1994; Horowitz & Klein 2000) Teoriaa puoltaa havainto, jonka mukaan suoritusta edeltävällä glukoosin nauttimisella on suonensisäisesti annosteltujen rasvojen käyttöä alentava vaikutus keskiraskaassa (50 %  $VO_2max$ ) kuormituksessa (Coyle ym. 1997).

Melzerin (2011) mukaan kuormitusintensiteetin saavuttaessa 85 %  $VO_2max$ , rasvojen absoluuttinen hapetus on vain noin 30  $\mu mol/min/kg$ , hiilihydraattien kattaessa yli kaksi kolmasosaa energiantuotosta. Yli 85 %  $VO_2max$  intensiteetillä liikuttaessa hapetettavat rasvat saadaan suurimmaksi osaksi lihasten sisäisistä triglyserideistä. Toisin kuin vapaiden rasvahappojen, lihasten sisäisten triglyseridien saatavuus ei riipu muutoksista verenkierrossa. (Melzer 2011)

## **5 MUUT ENERGIANLÄHTEIDEN KÄYTTÖÖN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT AKUUTISSA KUORMITUKSESSA**

Liikunnan aikaiseen rasvojen ja hiilihydraattien käytön suhteeseen vaikuttavat kuormituksen intensiteetin lisäksi monet tekijät, kuten kuormituksen kesto ja edeltävien päivien ruokailujen rasva- ja hiilihydraattipitoisuudet (Krogh & Lindhard 1920). MFO:n ja  $Fat_{max}\%$ :n vaihtelu on terveessä aikuisväestössä suurta (vastaavasti 0,18 – 1,01 g/min ja 25 – 77 %  $VO_{2max}$ ), ja vain osa niihin tekijöistä on toistaiseksi pystytty tunnistamaan (Venables ym. 2005). Laadukkaan testaamisen kannalta on kuitenkin tärkeää pyrkiä tunnistamaan ja vakioimaan energia-aineenvaihduntaan vaikuttavat tekijät mahdollisimman huolellisesti (Astorino & Schubert 2017).

### **5.1 Ravitsemustila**

Melzerin (2011) mukaan hiilihydraatin nauttiminen stimuloi insuliinin eritystä verenkiertoon. Seurauksena glukoosin käyttö energianlähteenä ja sen varastointi glykogeeninä lisääntyvät, rasvojen varastointi kudoksiin lisääntyy ja rasvahappojen vapautuminen verenkiertoon sekä niiden hapetus vähenevät. (Melzer ym. 2011) Coyle ym. (1997) havaitsivat, että kestävyysharjoitelleilla miehillä suoritusta edeltävä glukoosin nauttiminen aiheutti paastonneeseen tilaan verrattuna keskimäärin 34 % laskun rasvojen hapetuksessa kuormituksessa, jonka teho oli 50 %  $VO_{2max}$ . Noin puolet laskusta selittyi veren, ja puolet vastaavasti lihaksen sisäisten rasvahappojen hapetuksen laskulla. Lisäksi glukoosin nauttiminen vähensi rasvahappojen vapautumista verenkiertoon noin 36 %. (Coyle ym. 1997)

Melzerin (2011) mukaan rasvan nauttimisella ei sitä vastoin ole rasvojen käyttöä lisäävää vaikutusta. Vaikka ateria sisältäisi pienen hiilihydraattimäärän lisäksi runsaasti rasvaa, aineenvaihdunta siirtyy ruokailun jälkeen joka tapauksessa enemmän hiilihydraattien hapetusta suosivaan suuntaan. Toisin kuin hiilihydraattien ja proteiinien käyttöä energianlähteinä, rasvojen käyttöä energianlähteenä ei näytä säätelevän niiden saanti ravinnosta, vaan

ensisijaisesti muiden energianlähteiden saatavuus elimistössä. Kun muita energianlähteitä on runsaasti saatavilla, rasvojen käyttö on vähäistä, mutta niiden käyttö lisääntyy, mikäli muiden energianlähteiden saatavuutta rajoitetaan. (Melzer 2011)

## 5.2 Yksilölliset tekijät

Suuri kehon rasvamassa lisää rasvojen käyttöä energiantuotossa. Jokaista 10 kg rasvamassan lisäystä kohti voidaan odottaa noin 0,8 g/h lisäystä rasvojen hapetuksessa. (Melzer 2011) Lisäksi suuremmalla kehon rasvattomalla massalla on havaittu positiivinen yhteys MFO:hon (Nordby ym. 2006). Achten ja Jeukendrup (2003) eivät kuitenkaan havainneet korrelaatiota  $Fat_{max}$ :in ja tutkittavien massan, painoindeksin tai rasvaprosentin välillä. (Achten & Jeukendrup 2003)

Joidenkin havaintojen perusteella naiset käyttävät liikuntasuorituksen aikana miehiin verrattuna enemmän rasvoja ja vähemmän hiilihydraatteja (Carter ym. 2001; Venables ym. 2005). Ero on havaittavissa absoluuttisessa rasvojen hapetuksessa (g/min) (Venables ym. 2005) ja rasvojen suhteellisessa osuudessa energiantuotosta (Carter ym. 2001; Venables ym. 2005) laajalla intensiteettialueella, sekä MFO:ssa ja  $Fat_{max}$ :ssa (Venables ym. 2005). Venables ym. (2005) havaitsivat, että kehon rasvattomaan massa suhteutettu MFO oli miehillä keskimäärin 7,4 mg/kg/min ja naisilla vastaavasti 8,3 mg/kg/min. Miehillä  $Fat_{max}\%$  oli keskimäärin 45 %  $VO_{2max}$  ja naisilla 52 %  $VO_{2max}$ . Energianlähteiden käytön erot miesten ja naisten välillä selittyvät luultavasti erilaisilla veren hormoni- ja katekoliamiinipitoisuuksilla, lihassolujakaumilla, rasvahappojen vapautumisen adrenergisellä säätelyllä sekä hormonisensitiivisen lipaasin aktiivisuudella. (Venables ym. 2005)

### 5.3 Suorituksen kesto

Melzerin (2011) mukaan rasvojen osuus energiantuotosta kasvaa suorituksen pitkittyessä, vaikka kuormitusintensiteetti pysyisi muuttumattomana. Matalatehoisessa liikunnassa, jonka energianlähteenä muutenkin toimivat pääasiassa rasvat, ei suorituksen kestolla ole yhtä suurta vaikutusta energianlähteiden valikointiin kuin korkeatehoisemmissa suorituksissa. (Melzer 2011.) Esimerkiksi Romijn ym. (1993) havaitsivat, että liikuttaessa intensiteetillä 25 %  $VO_2max$ , rasvojen ja hiilihydraattien prosentuaaliset osuudet tuotetusta energiasta pysyvät muuttumattomina kuormituksen ensimmäisten kahden tunnin ajan.

Melzerin (2011) mukaan intensiivisemmässä kuormituksessa on puolestaan suorituksen pitkittyessä havaittavissa siirtymä hiilihydraattien käytöstä rasvojen käyttöön. Taustalla on rasvojen käyttöä stimuloivien katekoliaamiinien lisääntyminen sekä rasvahappojen käyttöä alentavan ja hiilihydraattien käyttöä lisäävän insuliinin väheneminen verenkierrossa. (Melzer 2011) Romijnin ym. (1993) mukaan keskiraskaassa (65 %  $VO_2max$ ) kuormituksessa sekä hapetettavien rasvojen että hiilihydraattien painopiste siirtyy lihaksen sisäisistä varastoista (glykogeeni ja lihaksen sisäiset triglyseridit) kohti verestä saatavia energianlähteitä (glukoosi ja veren rasvahapot).

Mikäli korkeatehoista kuormitusta jatketaan tarpeeksi kauan, lihaksen glykogeenivarastot voivat loppua, ja suoritusteho laskee veren glukoosin jäädessä lihaksen ainoaksi hiilihydraatin lähteeksi. (Melzer 2011). Esimerkiksi kahden – kolmen tunnin suoritus teholla 65 – 75 %  $VO_2max$  (Coyle 1995), yhden – kahden tunnin suoritus teholla 70 – 80 %  $VO_2max$  (Esséen 1977) tai 30 – 60 minuutin suoritus yli 85 %  $VO_2max$  teholla riittää alentamaan työskentelevien lihasten glykogeenipitoisuutta merkittävästi.

## 5.4 Kuormituksen tyyppi

Verrattaessa rasvojen hapetusta eri kuormitusmuotojen välillä on havaittu, että juoksumatolla saavutetaan korkeampia MFO- ja  $Fat_{max}$ -arvoja, kuin crosstrainerilla tai soutulaitteella huolimatta siitä, että kyseisissä kuormitusmuodoissa ei ole merkittäviä eroja hapen kulutuksen huippuarvojen välillä (Filipovic ym. 2021). Myös pyöräilyssä energiantuotto nojaa vähemmän rasvoihin verrattuna juoksuun samalla intensiteetillä (Melzer 2011). Useissa energia-aineenvaihduntaa tarkastelevissa tutkimuksissa kuormitusmuotona on kuitenkin käytetty pyöräilyä (Astorino & Schubert 2017).

Melzerin (2011) mukaan voima- ja kestävyyslementtejä yhdistelevä liikuntasuoritus näyttäisi lisäävän rasvojen hapetuksen suhteellista osuutta verrattuna puhtaasti kestävyystyypiseen kuormitukseen. Kestävyysuorituksen aikainen rasvojen hapetus on myös suurempaa, jos suoritusta edeltää edellä mainitun kaltainen yhdistetty kuormitus, kuin jos suoritusta edeltää puhtaasti kestävyystyypinen kuormitus. (Melzer 2011) Mikäli lihastyötä tehdään vain yhdellä raajalla, lihasten sisäisiä rasvahappoja ei ilmeisesti käytetä energiantuottoon, mikä selittynee alhaisemmalla veren katekoliamiinipitoisuudella verrattuna tilanteeseen, jossa molempien puolien raajat työskentelevät. (Martin & Klein 1998.)

## **6 HARJOITTELUN VAIKUTUKSET KUORMITUKSEN AIKAISEEN RASVOJEN HAPETUKSEEN**

Sekä yhtäjaksoisen matalalla – keskiraskaalla intensiteetillä tapahtuvan kestävyysharjoittelun (Koivisto ym. 1982; Hurley ym. 1986) että intervalliharjoittelun (Astorino & Schubert 2017) on huomattu lisäävän rasvojen hapetusta ja vastaavasti vähentävän hiilihydraattien käyttöä submaksimaalisessa kuormituksessa. Ilmiö on havaittavissa liikuttaessa sekä samalla suhteellisella (% VO<sub>2</sub>max) että absoluuttisella intensiteetillä ennen harjoitusjaksoa ja sen jälkeen. Lisäksi MFO kehittyy ilmeisesti harjoittelun myötä, mutta Fat<sub>max</sub> pysyy tyypillisesti ennallaan (Maunder ym. 2018). (Carter ym. 2001; Holloszy & Coyle 1984; Hurley ym. 1986.) Tutkimuksissa on saatu viitteitä siitä, että kestävyysharjoittelu tehostaa rasvojen hapetusta sekä paikallisten lihaksen adaptaatioiden (Kiens ym. 1993) että koko elimistön tasolla tapahtuvien adaptaatioiden (Nordby ym. 2006) kautta.

### **6.1 Kestävyysharjoittelun vaikutukset rasvojen käyttöön yleisesti**

Horowitzin ja Kleinin (2000) mukaan rasvakudoksen lipolyysi on kestävyysharjoitelleilla henkilöillä tehostunut verrattuna harjoittelemattomiin vakioidussa suhteellisessa kuormituksessa (% VO<sub>2</sub>max). Syynä on todennäköisesti harjoitelleiden henkilöiden rasvakudoksen tehostunut verenkierto ja siten korkeampi katekoliamiinien saatavuus (Horowitz & Klein 2000) sekä ihonalaisen rasvakudoksen lisääntynyt herkkyys katekoliamiineihin kuuluvan adrenaliinin lipolyyttiselle vaikutukselle (Crampes ym. 1986). Toisaalta on myös saatu osin ristiriitaisia tuloksia, joiden mukaan vakioidussa suhteellisessa kuormituksessa harjoitelleiden henkilöiden veren rasvahappopitoisuus nousee vähemmän (Koivisto ym. 1982) ja rasvakudoksesta saatuja rasvahappoja päätyy lihaksiin hapetettavaksi vähemmän (Martin ym. 1993), kuin harjoittelemattomilla.

Vakioidussa absoluuttisessa kuormituksessa (watteina ilmaistuna) kestävyysharjoitelleiden ja harjoittelemattomien henkilöiden välillä ei ole havaittu eroa rasvakudoksen lipolyyttisessä

aktiivisuudessa huolimatta lisääntyneestä rasvojen hapetuksesta harjoitelleilla (Horowitz & Klein 2000). Sen sijaan lihasten sisäisten rasvavarastojen käytön on havaittu jopa kaksinkertaistuvan kahdentoista viikon kestävyysharjoittelun myötä kuormituksessa, jonka absoluuttinen teho vastasi 64 % harjoittelua edeltäneestä VO<sub>2</sub>max:sta (Hurley ym. 1986).

Kiensin ym. (1993) mukaan rasvojen tehostunut käyttö harjoitelleilla selittyy osin kasvaneella rasvahappojen saatavuudella mitokondrioissa. Kestävyysharjoittelu vaikuttaa rasvahappojen saatavuuteen lisäämällä lihasten kapillaaritiheyttä, kasvattamalla rasvahappoja mitokondrion läpi kuljettavan karnitiinitransferaasin pitoisuutta ja lisäämällä lihassoluissa rasvahappojen kuljetuksesta vastaavien sitoutumisproteiinien määrää. (Kiens ym. 1993.) Myös mitokondrioiden määrä lihaksissa kasvaa, mikä kasvattaa rasvahappojen hapetuskapasiteettia (Horowitz & Klein 2000). Lisäksi rasvahappojen hapetukseen tarvittavien entsyymien määrä kasvaa (Brooks & Mercier 1994).

## **6.2 Intervalliharjoittelun vaikutukset rasvojen hapetukseen**

Astorinon ja Schubertin (2017) mukaan intervalliharjoittelulla tarkoitetaan harjoittelua, jossa työ- ja lepojaksot vuorottelevat harjoituskerran sisällä. Intervalliharjoittelun alalajeja ovat HIIT (High-Intensity Interval Training) ja SIT (Sprint Interval Training). HIIT koostuu tyypillisesti yhden – neljän minuutin työjaksoista noin 60 – 100 % VO<sub>2</sub>max teholla. SIT puolestaan sisältää enintään 30 sekunnin työjaksoja, joiden intensiteetti ylittää 100 % VO<sub>2</sub>max. (Astorino & Schubert 2017) Verrattuna vakioitehoiseen yhtäjaksoiseen harjoitteluun matalammilla intensiteeteillä, HIIT- ja SIT-harjoittelulla on saavutettu pienemmällä harjoitteluun käytetyllä ajalla samankaltaisia harjoitusvasteita (Gibala ym. 2012).

Intervalliharjoittelun on havaittu vaikuttavan liikuntasuorituksen aikaiseen energianlähteiden käyttöön liikunnallisesti aktiivisilla henkilöillä (Astorino & Schubert 2017). Esimerkiksi Talanian ym. (2007) tutkivat seitsemän HIIT-harjoituksen aikaansaamia vasteita liikunnallisesti aktiivisilla naisilla. Jokaisella harjoituskerralla tutkittavat tekivät kymmenen neljän minuutin



intervallia 90 % VO<sub>2</sub>max vastaavalla teholla, intervallien välisten palautusjaksojen ollessa kestoaltaan 2 minuuttia. Seitsemän harjoituskertaa riitti lisäämään tutkittavien rasvojen käyttöä keskimäärin 15,0 grammasta 20,4 grammaan (36 %) tunnin mittaisessa kuormituksessa, jonka teho vastasi 60 % harjoitusjaksoa edeltäneestä VO<sub>2</sub>max:sta. Samalla hiilihydraattien käyttö väheni keskimäärin 80,7 grammasta 62,1 grammaan (23 %). (Talanian ym. 2007) Perry ym. (2008) käyttivät Talanianin ym. (2007) kanssa yhtenevää testikuormitusta ja samanlaista harjoittelua toteutettuna kolmesti viikossa kuuden viikon ajan tutkittaessa HIIT-harjoittelun vaikutusta kuormituksen aikaiseen rasvojen ja hiilihydraattien käyttöön harjoittelemattomilla miehillä ja naisilla. Harjoittelun myötä testin aikainen rasvojen käyttö kasvoi keskimäärin 12 % ja hiilihydraattien käyttö väheni vastaavasti 16 %. Lisäksi sekä rasvojen että hiilihydraattien hapetuksessa tarvittavien entsyymien pitoisuudet ja maksimaaliset aktiivisuustasot kasvoivat harjoittelun myötä. (Perry ym. 2008)

SIT-harjoittelun osalta Burgomaster ym. (2008) havaitsivat, että 4 – 6 kertaa 30 sekunnin maksimaalinen pyöräilyosuus kolmesti viikossa riitti vähentämään saman verran kuormituksen aikaista fosfokreatiinin ja glykokeenin käyttöä sekä vastaavasti kasvattamaan rasvojen käyttöä, kuin 40 – 60 minuutin yhtäjaksoinen pyöräilyosuus 65 % VO<sub>2</sub>max teholla viitenä päivänä viikossa. Näyttäisi siis siltä, että SIT-harjoittelulla voidaan tehostaa suorituksen aikaista rasvojen käyttöä huomattavasti vähäisemmällä ajan käytöllä (1,5 h palautusjaksoineen), kuin yhtäjaksoisella matalatehoisemmalla kestävyysharjoittelulla (4,5 h). Myös energiankäyttöön suhteutettuna rasvojen käytön adaptaatiot näyttäisivät suosivan SIT-harjoittelua (225 kJ / viikko) verrattuna yhtäjaksoiseen harjoitteluun (2250 kJ / viikko). (Burgomaster ym. 2008)

Astorinon ja Schubertin (2017) mukaan sekä HIIT- että SIT-harjoittelulla on saavutettu kasvua myös MFO:ssa. Intervalliharjoittelulla saavutettava MFO:n kasvu on tyypillisesti alle 0,10 g/min. Läheskään kaikissa tutkimuksissa intervalliharjoittelu ei kuitenkaan ole vaikuttanut kuormituksen aikaiseen rasvojen käyttöön, ja lisäksi HIIT-harjoittelu näyttäisi olevan jossain määrin SIT-harjoittelua tehokkaampaa tässä suhteessa, sillä Astorinon ja Schubertin (2017) katsaukseen päätyneistä HIIT-harjoittelututkimuksista 62 % ja SIT-harjoittelututkimuksista ainoastaan 32 % havaitsi kasvua rasvojen käytössä harjoitusintervention myötä. Lisäksi pyöräillen toteutetuissa intervalliharjoittelututkimuksissa on havaittu useammin kasvua

rasvojen käytössä, kuin juosten tai kävellen toteutetuissa. Intervalliharjoittelulla saavutettava MFO:n kasvu on tyypillisesti alle 0,10 g/min, ja se havaitaan melko pian harjoittelun aloittamisen jälkeen (esimerkiksi jo kuuden harjoittelukerran jälkeen (Astorino ym. 2013)). Jatkamalla harjoittelua useita viikkoja ei kuitenkaan ilmeisesti saavuteta olennaista lisähyötyä. (Astorino & Schubert 2017)

## 7 KYLMÄALTISTUKSEN AIHEUTTAMAT FYSIOLOGISET VASTEET

Tässä työssä kylmäaltistuksella tarkoitetaan Doubtia (1991) mukaillen tilannetta, jossa tarkastelun kohteena oleva henkilö voi menettää merkittäviä määriä lämpöä ympäristöönsä jonkin kehon osan/osien kautta. Termoneutraalilla ympäristöllä puolestaan tarkoitetaan tilannetta, jossa tavanomaisiin sisäliikuntavaatteisiin (esim. t-paita ja shortsit) pukeutuneen henkilön kehosta ei poistu merkittäviä määriä lämpöä ympäristöön lepotilassa.

Youngin (1990) käyttämässä käsitteistössä ympäristön lämpötilan vaikutuksia kuormituksen aiheuttamiin vasteisiin auttaa ymmärtämään ns. ohjeellinen alue (descriptive zone), joka tarkoittaa sitä ympäristötekijöiden (tässä tapauksessa erityisesti lämpötilan) vaihteluväliä, jonka sisällä kuormituksen aiheuttamien elimistön vasteiden kirjo on vakio. Kylmässä ympäristössä lämpötilan ohjeellisen alueen alaraja siirtyy korkeammalle intensiteetille verrattuna termoneutraaliin ympäristöön. Kuormituksen aiheuttamat vasteet ovat lämpötilasta riippumatta samanlaisia kyseisen rajan ylittävillä intensiteeteillä, kun taas rajan alittavilla kuormitusintensiteeteillä elimistön vasteet ovat riippuvaisia lämpötilasta. (Young 1990)

### 7.1 Vasokonstriktio ja lihasvärinä

Mikäli käyttäytymisellä, kuten pukeutumisella, lämmittimien käytöllä ja kehon asentoa muuttamalla ei pystytä estämään lämmön poistumista kehosta, kaksi tärkeintä elimistön vastetta kylmässä ovat perifeeristen verisuonten supistuminen eli vasokonstriktio ja lihasvärinä (Young 1990). Alban ym. (2019) mukaan vasokonstriktiossa pintaverisuonten läpimitta ja siten niiden läpi virtaava verimäärä vähenevät, jolloin lämmön poistuminen ympäristöön ihon kautta johtumalla vähenee. Lämpötilan nousu puolestaan aiheuttaa päinvastaisen tapahtumasarjan, jota kutsutaan vasodilataatioksi. Pintaverisuonten läpimitan säätelymekanismit ovat erittäin herkkiä ja reagoivat nopeasti pieniinkin lämpötilan muutoksiin. Hermoston tasolla pintaverenkiertoa säädellään hieman eri mekanismeilla riippuen siitä, kuinka suuren ihopinta-alan kylmäaltistus käsittää. Solutasolla vasokonstriktion laukaisee kuitenkin aina sympaattisten

adrenergisten hermopäätteiden erittämän noradrenaliinin sitoutuminen verisuonten seinämien adrenergisiin reseptoreihin, ja vasodilataation vastaavasti sympaattisten kolinergisten hermopäätteiden vapauttaman asetyylikoliinin sitoutuminen kolinergisiin reseptoreihin. (Alba ym. 2019.) Ihon lisäksi vasokonstriktiota tapahtuu mahdollisesti myös rasva- (Doubt 1991) ja lihaskudoksessa (Beelen & Sargeant 1991) niiden lämpötilan laskiessa.

Youngin (1990) mukaan toinen merkittävä kylmäaltistuksen aiheuttama fysiologinen vaste on lihasvärinäksi kutsuttu luurankoli hasten ei-tahdonalainen toistuva supistelu, joka ei johda mekaaniseen työhön, mutta kuluttaa energiaa ja tuottaa lämpöä. Kylmäaltistuksen aiheuttama lihasvärinä on vähäisempää henkilöillä, joiden ihonalainen rasvakudos on paksumpi. Henkilöillä, joiden rasvakerros on ohuempi, kylmäaltistus aiheuttaa yleensä suuremman kasvun energiankulutuksessa, kuin lihavammi lla henkilöillä. Lisäksi alhainen veren glukoosipitoisuus ja mahdollisesti myös lihasten vähäinen glykogeenipitoisuus vähentävät kylmäaltistuksen aiheuttamaa lihasvärinää ja johtavat siten nopeampaan kehon jäähtymiseen. (Young 1990)

## **7.2 Muut kylmäaltistuksen aiheuttamat fysiologiset vasteet**

Blondinin ja Hamanin (2018) mukaan ihminen pystyy tuottamaan lämpöä myös ilman lihasaktiivisuutta. Ilmiöstä käytetään nimitystä värinätön lämmöntuotto, ja se perustuu erityiseen lihaksissa ja ruskeassa rasvakudoksessa tapahtuvaan energianlähteiden pilkkomiseen, jonka seurauksena ei tapahdu ATP:n uudismuodostusta. Lisäksi viime aikoina on tehty havaintoja proteiineista, jotka kylmäaltistuksen aktivoimina vaikuttavat ionien liikkeisiin lihassolujen solulimassa ja solukalvoilla, johtaen kasvaneeseen lämmöntuottoon. Lihasten ja ruskean rasvakudoksen lisäksi ainakin sydän, maksa ja valkoinen rasvakudos osallistuvat lämmöntuottoon, ja voivat lievässä kylmäaltistuksessa levossa tuottaa yhteensä jopa 60 % koko kehon lämmöstä, ruskean rasvakudoksen osuuden ollessa noin 0,5 % ja luurankoli hasten 40 %. (Blondin & Haman 2018)

Edellä mainittujen kehon lämpötilaa ylläpitävien mekanismien lisäksi kylmälle altistuminen saa aikaan myös muita vasteita, joista osa vaikuttaa energianlähteiden käyttöön ja ihmisen kykyyn tehdä tahdonalaista lihastyötä kylmässä (Young 1990). Korhosen (2006) mukaan ympäristön lämpötilan lasku aiheuttaa esimerkiksi vasokonstriktion kautta kasvua verenpaineessa ja sydämen työkuormassa, minkä seurauksena sydämen sykkeeseen vaikuttavat painetta aistivat baroreseptorit aktivoituvat, alentaen sydämen syketaajuutta. Esimerkiksi kahden tunnin oleskelun levossa + 10 °C lämpötilassa on havaittu johtavan terveillä miehillä sydämen leposykkeen alenemiseen keskimäärin 72 bpm:sta 59 bpm:ään verrattuna oleskeluun + 28 °C:ssa. (Korhonen 2006.) Youngin (1990) mukaan kylmältäistuksen aiheuttama sykkeen aleneminen näkyy myös liikunnan aikana siten, että sydämen syketaajuus ei saavuta kylmässä yhtä suurta arvoa, kuin vastaavassa kuormituksessa termoneutraalissa ympäristössä, ja sydämen iskutilavuus vakiotehoisessa kuormituksessa on puolestaan suurempi kylmässä. Myös maksimisyke ja VO<sub>2</sub>max jäävät kylmässä alhaisemmiksi, kuin termoneutraalissa ympäristössä, eron ollessa enimmillään jopa 15 – 18 %. VO<sub>2</sub>max:n aleneminen edellyttäneekin kuitenkin vähintään 0,5 °C sisälämpötilan laskun. (Young 1990)

Youngin (1990) mukaan huolimatta siitä, että kehon ääriosien vasokonstriktio vähentää kehon ja ympäristön välistä lämpötilaeroa ja siten lämmön poistumista elimistöstä, lihastyö puolestaan kasvattaa lihasten verenkiertoa, jolloin työskentelevän raajan ja ympäristön välinen lämpötilaero kasvaa. Lisäksi raajojen liike lisää ilmavirtaa liikkuvien kehon komponenttien ympärillä, mikä lisää lämmön poistumista ilmavirran mukana. Näistä syistä työskentelevien lihasten lämpötila voi kylmässä tapahtuvassa kuormituksessa jäädä alhaisemmaksi, kuin vastaavassa kuormituksessa lämpimämmässä ympäristössä. (Young 1990)

Youngin (1990) mukaan kylmä ympäristö vaikuttaa myös liikunnan aikaisiin hormonivasteisiin. Esimerkiksi katekoliamiineihin kuuluvien adrenaliinin ja noradrenaliinin erityis lisääntyy sisälämpötilan laskiessa, kun taas liikunnan aiheuttamat kortisoli- ja kasvuhormonivaste voivat jäädä kylmässä termoneutraaleja oloja vähäisemmiksi. Lisäksi kudosten insuliiniherkkyys näyttää kasvavan akuutisti kylmältäistuksessa. (Young 1990)

### **7.3 Kylmän ympäristön aiheuttamat aineenvaihdunnan vasteet levossa ja kuormituksessa**

Ympäristön lämpötila vaikuttaa sekä ihmisen kokonaisenergiankulutukseen, että käytettävien energianlähteiden prosentuaalisiin osuuksiin (Young 1990). Hamanin ym. (2002) mukaan mekaanisen lihastyön tavoin kylmälämmityksen aiheuttamien välittömien vasteiden vaatima energia tuotetaan pääosin pilkkomalla aktiivisissa soluissa rasvoja ja hiilihydraatteja. Kun energianlähteiden käyttöä kuvataan energiankulutuksen funktiona, energianlähteiden prosentuaaliset osuudet noudattavat kuitenkin erilaisia profiileja kylmälämmityksessä verrattuna mekaaniseen työhön. (Haman ym. 2002.) Kun on pyritty selvittämään kylmälämmityksen aiheuttamia muutoksia eri energianlähteiden levossa ja kuormituksessa, tulokset ovat kuitenkin olleet osin ristiriitaisia (Vallerand & Jacobs 1989; Haman ym. 2002).

Doubtin (1991) mukaan energiankulutus on levossa ja vakioidussa liikuntasuorituksessa tavallisesti suurempaa kylmässä, kuin termoneutraalissa ympäristössä. Selityksinä ilmiölle pidetään lihasvärinän, värinättömän lämmöntuoton ja lihasten alhaisemman taloudellisuuden aiheuttamaa lisätarvetta energiantuotolle. (Doubt 1991) Lihasvärinä aiheuttaa tavallisesti energiankulutuksen kaksin-kolminkertaistumisen ja enimmillään viisinkertaistumisen lepotilaan verrattuna (Young 1990). Esimerkiksi Vallerand ja Jacobs (1989) havaitsivat hengityskaasujen perusteella, että kahden tunnin oleskelu +10 °C huoneilmassa aiheutti tutkittavilla noin 2,46-kertaisen kokonaisenergiankulutuksen kasvun verrattuna oleskeluun + 29 °C:ssa, ja Haman ym. (2002) havaitsivat kokonaisenergiankulutuksen vastaavaasti 2,6-kertaistuvan, kun altistus toteutettiin virtauspuvun avulla. Levossa kylmälämmitys näyttää lisäävän erityisesti hiilihydraattien hapetusta, joka saattaa jopa yli kuusinkertaistua (Vallerand & Jacobs 1989).

Kylmälämmitys kasvattaa ilmeisesti akuutisti hiilihydraattien hapetusta myös kuormituksen aikana (Young 1990). Doubtin (1991) mukaan mahdollisia selityksiä kylmälämmityksen aiheuttamalle hiilihydraattien käytön kasvuille ovat lihasvärinä, jossa käytetään mekaaniseen lihastyöhön verrattuna suhteellisesti enemmän hiilihydraatteja, kylmälämmityksen aiheuttama lihasten alentunut taloudellisuus sekä katekoliamiinien erittyminen. Toisaalta on tehty myös

päinvastaisia havaintoja, joiden mukaan kylmäaltistus näyttäisi vähentävän kuormituksen aikaista hiilihydraattien hapetusta (Febbraio ym. 1996; Gagnon ym. 2013b).

Toistettujen kylmäaltistusten vaikutusta aineenvaihduntaan on tutkittu pääasiassa kokonaisenergiankulutuksen näkökulmasta, eikä eroa ole tehty hiilihydraattien ja rasvojen osuuksien välille (Daanen & Lichtenbelt 2016). Young ym. (1995) kuitenkin havaitsivat, että vedessä harjoittelevilla henkilöillä kuormituksen aikainen lihasglykogeenin käyttö ja veren laktaattipitoisuus vähenivät harjoittelun seurauksena saman verran riippumatta siitä, toteutettiinko harjoittelu kylmässä (20 °C) vai lämpimässä (35 °C) vedessä.

#### **7.4 Akuutin kylmäaltistuksen vaikutukset rasvojen käyttöön**

Doubtin (1991) mukaan verrattuna termoneutraaliin ympäristöön, kylmässä tapahtuvan liikunnan aikana veren vapaiden rasvahappojen ja glyserolin pitoisuudet ovat alhaisempia, mikä on osoitus vähentyneestä rasvahappojen vapautumisesta verenkiertoon. Muutos ei kuitenkaan selity hormonaalisella säätelyllä, sillä kylmäaltistuksen aikana lipolyysiä stimuloivien katekoliamiinien pitoisuudet ovat korkeampia, kuin lämpimässä. (Doubt 1991) Esimerkiksi Gagnon ym. (2013b) havaitsivat, että 70 % VO<sub>2</sub>max tehoista juoksusuoritusta edeltävä värinään johtava kylmäaltistus lisäsi entisestään veren noradrenaliinipitoisuutta suorituksen aikana. Sen sijaan eräs mahdollinen selitys alentuneelle lipolyysille kylmässä on ihonalaisen rasvakudoksen verenkierron ja siten rasvahappojen kuljetuksen heikkeneminen vasokonstriktion johdosta. (Doubt 1991)

Rasvojen hapetuksen osalta Layden ym. (2002) havaitsivat, että 90 minuutin pyöräilysuorituksessa, jonka teho vastasi 20 celsiusasteessa noin 64 % VO<sub>2</sub>max, RER oli keskimäärin korkeampi -10 ja 0 °C:ssa, kuin +10 ja +20 °C:ssa. Lisäksi keskimääräinen rasvojen hapetus oli eri lämpötiloissa 0,15, 0,17, 0,35 ja 0,40 g/min, kylmimmästä asetelmasta lämpimimpään. Tutkijat päättelivät, että lipolyysi, rasvojen kuljetus ja rasvojen hapetuskyky,

tai jotkin näistä toimivat heikommin kylmässä, kuin lämpimässä ympäristössä liikuttaessa. (Layden ym. 2002)

Myöhemmin on kuitenkin havaittu, että veren rasvahappo- ja glyserolipitoisuuden nostaminen keinotekoisesti ei lisännyt rasvojen hapetusta liikuttaessa 0 °C:ssa, mikä viittaa kylmän ympäristön vähentävän rasvojen hapetusta jotenkin muuten, kuin veren rasvahappojen saatavuuden kautta (Layden ym. 2004a). Näkemystä tukevat Gagnonin ym. (2013b) havainnot, joiden mukaan suoritusta edeltävällä värinään johtavalla kylmäaltistuksella oli positiivinen vaikutus veren noradrenaliini-, rasvahappo- ja glyserolipitoisuuksiin 70 % VO<sub>2</sub>max tehoisessa juoksusuorituksessa 0 °C:ssa. Myös lihaksen sisäisten rasvahappojen lipolyysin mahdollinen väheneminen on rajattu pois tekijöistä, joiden kautta kylmä ympäristö voisi alentaa kuormituksen aikaista rasvojen hapetusta, joten kylmäaltistus todennäköisimmin vähentää rasvojen hapetusta heikentämällä rasvahappojen pääsyä mitokondrioon hapetettavaksi (Layden ym. 2004b).

1980-luvulta asti on kuitenkin tehty myös yksittäisiä havaintoja, jotka näyttävät valtavirrasta poiketen rasvojen hapetuksen olevan runsaampaa kylmässä, kuin lämpimässä (Doubt 1991). Gagnon ym. (2013a) tutkivat hengityskaasujen ja verinäytteiden perusteella rasvojen hapetusta kylmässä (0°C) tehtävän submaksimaalisen (50 ja 70 % VO<sub>2</sub>max) 60 minuutin juoksun aikana terveillä miehillä verrattuna termoneutraalissa (22°C) ympäristössä tehtävään suoritukseen. Vastoin Laydenin ym. (2002) ja osin Febbraion ym. (1996) tuloksia, hengityskaasujen perusteella arvioituna rasvojen hapetus oli kylmässä keskimäärin 0,14 g/min suurempaa, RER keskimäärin 0,03 yksikköä alhaisempi ja energiantuotto rasvojen avulla 1,62 kcal/min suurempaa kuin lämpimässä. Verinäytteessä ei kuitenkaan havaittu lämpötilojen välistä eroa rasvahappojen, glyserolin tai katekoliamiinien pitoisuuksissa, minkä vuoksi Gagnon ym. (2013a) päättelivät kohonneen rasvojen hapetuksen olevan seurausta lihaksen sisäisten rasvavarastojen lisääntyneestä käytöstä kylmässä tapahtuvan suorituksen aikana. (Gagnon ym. 2013a) Lisäksi Gagnon ym. (2020) havaitsivat, että Achtenin ym. (2002) testiä mukailevassa kuormitusprotokollassa MFO- ja Fat<sub>max</sub>-arvot olivat nuorilla terveillä henkilöillä korkeampia, kun testi toteutettiin kylmässä (4,6 °C) ympäristössä verrattuna lämpimään (34,1 °C) ympäristöön.



## 8 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

**Tutkimuskysymys 1.** Muuttuuko tutkittavien MFO seitsemän viikon intervalliharjoittelun seurauksena?

**Hypoteesi:** MFO kasvaa intervalliharjoittelun seurauksena.

**Perustelu:** Intervalliharjoittelun on havaittu kasvattavan rasvojen hapetusta vakiotehoisessa kuormituksessa (Astorino & Schubert 2017; Melzer 2011; Talanian ym. 2007; Burgomaster ym. 2008; Perry ym. 2008)

**Tutkimuskysymys 2.** Muuttuuko tutkittavien  $Fat_{max}$  (ml/kg/min) seitsemän viikon intervalliharjoittelun seurauksena?

**Hypoteesi:**  $Fat_{max}$  kasvaa tai pysyy ennallaan intervalliharjoittelun seurauksena.

**Perustelu:**  $Fat_{max}$  on useimmissa harjoittelututkimuksissa pysynyt muuttumattomana lukuunottamatta joitain tutkimuksia, joissa  $Fat_{max}$  on kasvanut harjoittelun aikana (Maunder ym. 2018).

**Tutkimuskysymys 3.** Onko 25 celsiusasteessa ja 0 celsiusasteessa harjoittelevien ryhmien välillä eroa MFO:n ja  $Fat_{max}$ :n muutoksissa?

**Hypoteesi:** 25 celsiusasteessa ja 0 celsiusasteessa harjoittelevien ryhmien välillä ei ole eroa MFO:n ja  $Fat_{max}$ :n muutoksissa.

**Perustelu:** Lämpötilan vaikutusta liikunnan aiheuttamiin rasva-aineenvaihdunnan adaptaatioihin ei ole tiettävästi tutkittu aiemmin, ja harjoittelun aikaansaamiin lihasglykokeenin käytön adaptaatioihin harjoittelun aikaisella ympäristön lämpötilalla ei ole havaittu vaikutusta (Young ym. 1995). Glykokeenin käyttö puolestaan vaikuttaa hiilihydraattien saatavuuteen

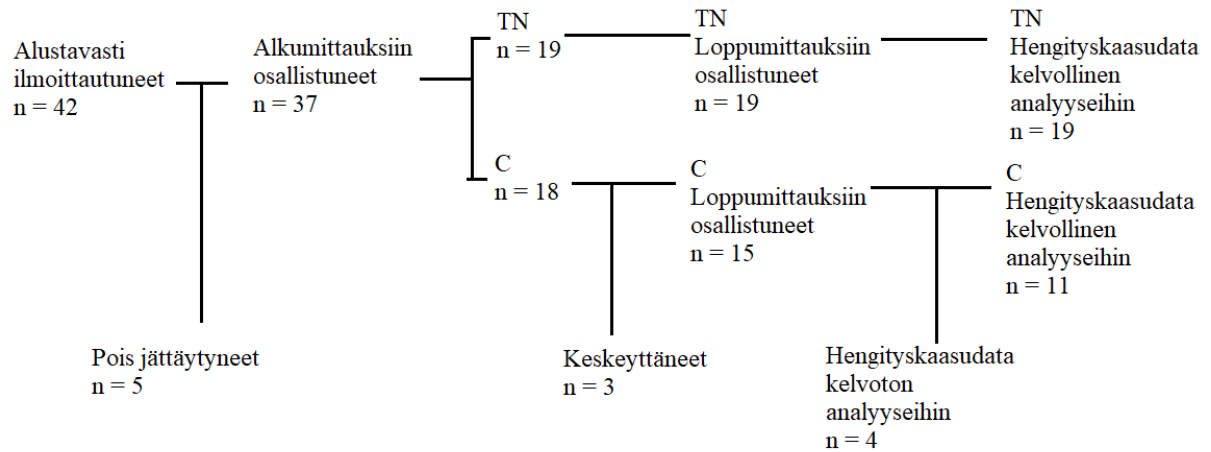
mitokondrioissa (Coyle 1995), joka puolestaan lienee eräs rasvojen hapetusta säätelevä tekijä (Horowitz & Klein 2000; Melzer 2011).

## 9 MENETELMÄT

Tämä opinnäytetyö toteutettiin osana Oulun Yliopiston, Jyväskylän Yliopiston, Työterveyslaitoksen, Helsingin Yliopiston ja Laurentian Universityn yhteistä tutkimusta “Lämpötilan vaikutukset mitokondrioiden oksidatiivisen fosforylaation, rasvakudoksen ja luustolihasen aineenvaihdunnan säätelyssä: havainnot metabolomiikasta ja transkriptomiikasta”, jonka tutkimusryhmän muodostivat Karl-Heinz Herzig, Heikki Kyröläinen, Dominique D. Gagnon, Juhani Leppäluoto, Sandra Dorman, Kari Mäkelä, Juha Peltonen ja Ville Stenbäck. Tutkimukselle haettiin eettinen hyväksyntä Pohjois-Pohjanmaan Sairaanhoidopiirin eettiseltä komitealta.

### 9.1 Tutkittavat

Tutkittavia oli yhteensä 37, joista 18 oli miehiä ja 19 naisia. Tutkittavat olivat terveitä, eikä heillä ollut urheilutaustaa. Tutkittavien ikä vaihteli välillä 20 – 32 vuotta, keskiarvon ollessa  $25 \pm 6$  vuotta. Tutkittavien pituus oli keskimäärin  $174,5 \pm 10,9$  cm, paino  $77,9 \pm 14,6$  kg ja BMI  $25,5 \pm 3,6$  mg/m<sup>2</sup>. Tutkimukseen osallistumisen kannalta hyväksyttävä terveydentila varmistettiin keräämällä tutkittavilta vastaukset Get Active-kyselylomakkeeseen (Canadian Society for Exercise Physiology 2017). Lisäksi tutkittavat allekirjoittivat kirjallisen suostumuksen tutkimukseen osallistumiseen ja heiltä kerättävien tietojen käsittelyyn. Kuvassa 1 on esitetty kaaviona tutkittavien ryhmäjako ja keskeyttäneet.



KUVA 1. Kaaviossa on esitettyä tutkittavien jako kylmässä (C) ja huoneenlämmössä (TN) harjoitteleviin sekä otosten valikoituminen tutkimuksen aikana.

## 9.2 Koeasetelma

Tutkimukseen kuuluivat alku- ja loppumittaukset sekä niiden välinen interventiojakso. Alkumittaukset (PRE) toteutettiin ennen harjoitusjaksoa aikavälillä 5.10.2020-16.10.2020 ja loppumittaukset (POST) interventiojakson jälkeen 7.12.2020-16.12.2020 (POST). PRE-mittausten jälkeen tutkittavat satunnaistettiin kahteen ryhmään: termoneutraaliin ryhmään (TN, n = 19) ja kylmäryhmään (C, n = 18). PRE- ja POST-testien välillä toteutettiin 7 viikon intervalliharjoitteluinterventio (19.10.2020 – 14.12.2020), jonka aikana molemmat ryhmät tekivät intervalliharjoittelua kuntopyörillä kolmesti viikossa. TN-ryhmä harjoitteli huoneenlämmössä (noin 21 – 23 °C), ja C-ryhmä harjoitteli kylmässä (0 °C).

### 9.3 Aineiston keruu

Tutkittavia ohjeistettiin kirjaamaan ylös PRE-mittauksia edeltävän vuorokauden ruokailu sekä mittauspäivän ensimmäisen ja toisen käynnin välillä nautitut ruoka-annokset, ja paastoamaan yön yli sekä välttämään raskasta liikuntaa ennen mittauksia. Tutkittavat myös vastasivat *Get Active*-kyselylomakkeeseen (Canadian Society for Exercise Physiology 2017) ennen mittausten alkua. Tutkittavat saapuivat mittauspaikalle ensimmäisen kerran aikavälillä 07:30 – 11:00. Tällöin heiltä kerättiin allekirjoitukset tutkimusta koskevaan kirjalliseen suostumusasiakirjaan. Tämän jälkeen heiltä mitattiin pituus ja paino.

Tutkittavat saapuivat toisen kerran mittauspaikalle aikavälillä 12:00 – 18:00. Tällöin he suorittivat nousujohtaisen kuormitustestin, jossa he pyöräilivät polkupyöräergometrillä (Monark 839E, Monark Exercise AB, Vansbro, Ruotsi), ja hengityskaasuaineisto kerättiin hengityskaasuanalysointilaitteella (Oxycon Pro, Erich Jaeger GmbH, Hoechberg, Saksa). Kuormitusprotokollana käytettiin pyöräilyä harrastamattomille sovellettua versiota Achtenin ym. (2002) pyöräilijöille kehittämästä kuormitusprotokollasta. Miehillä asetettiin aloituskuormaksi 30 W ja naisilla 20 W. Tutkittavaa ohjeistettiin pitämään kadenssi välillä 60 – 80 rpm. Aluksi vastusta lisättiin kolmen minuutin välein 20 W, kunnes RER saavutti pysyvästi arvon 1,00. Tämän jälkeen kuormitusta jatkettiin lisäten vastusta minuutin välein 30 W, kunnes tutkittava ei pystynyt pitämään kadenssia vaaditulla välillä (60 – 80 rpm). Suurin teho jolla tutkittava kykeni suorittamaan kuorman loppuun asti ( $W_{max_{pre}}$ ), kirjattiin ylös harjoittelujakson aikana käytettävien kuormitusintensiteettien määrittämistä varten. Lisäksi kuormituksen aikana käytetyt pyörän asetukset ja käytetyn maskin koko kirjattiin ylös, jotta testiasetelma voitiin toteuttaa mahdollisimman samanlaisena POST-mittauksissa.

POST-mittaukset toteutettiin PRE-mittauksiin nähden identtisinä interventiojakson jälkeen. Viimeisen harjoituskerran ja POST-mittausten välillä oli jokaisella tutkittavalla 24 – 96 tunnin aikaväli. Lähtötilanteen vakioimiseksi tutkittavia ohjeistettiin ruokailemaan POST-mittauksia edeltävänä päivänä PRE-mittausten yhteydessä luovutetun ruokapäiväkirjan mukaisesti. Myös POST-mittausten ensimmäisen ja toisen käynnin välisen ruokailun tuli olla identtinen verrattuna PRE-mittausten ensimmäisen ja toisen käynnin väliseen ruokailuun.

#### 9.4 Analysoitavien muuttujien määrittäminen kerätyn datan perusteella

Hengityskaasudata siirrettiin laskuja varten Microsoft Excel-ohjelmaan. Rasvojen ja hapetus määritettiin jokaiselle hengitykselle käyttämällä Jeukendrupin ja Wallisin (2005) ehdottamia yhtälöitä (3), (4) ja (5). Yhtälössä (5) arvioitiin, että  $n = 135 \mu\text{g/kg/min}$  (Gagnon ym. 2020).

Yhtälön (5) avulla määritetystä rasvojen hapetuksen funktiosta ajan suhteen etsittiin se 30 sekunnin aikaväli I, jonka sisällä FOx saavutti korkeimman keskiarvonsa. MFO:ksi valittiin FOx:n keskiarvo kyseisellä aikavälillä. Näin ollen  $\text{Fat}_{\text{max}}$  määritettiin keskimääräisenä hapenkulutuksena kyseisellä aikavälillä I (ml/kg/min).

Maksimaalinen hapenottokyvyn ( $\text{VO}_2\text{max}$ , ml/kg/min) määrittämistä varten hengityskaasudatasta etsittiin se 30 sekunnin aikaväli, jonka aikana hapenkulutuksen (ml/kg/min) keskiarvo oli korkein.  $\text{VO}_2\text{max}$  määritettiin kyseisen aikavälin keskimääräisenä hapenkulutuksena.  $\text{Fat}_{\text{max}}\%$  laskettiin PRE-mittauksissa saadun  $\text{Fat}_{\text{max}}:n$  (ml/kg/min) prosentuaalisena osuutena PRE-mittauksissa saadusta  $\text{VO}_2\text{max}:sta$ , ja vastaavasti POST-mittauksissa saadun  $\text{Fat}_{\text{max}}:n$  prosentuaalisena osuutena POST-mittauksissa saadusta  $\text{VO}_2\text{max}:sta$ .

#### 9.5 Interventio

Interventiojakson aikana TN-ryhmä harjoitteli huoneenlämmössä (noin 21 – 23 °C), ja C-ryhmä harjoitteli kylmässä (0 °C). Molempien ryhmien tutkittavat olivat harjoitusten aikana pukeutuneet tavallisiin sisäliikuntavaatteisiin (esim. t-paita ja shortsit). Harjoittelu tapahtui molemmissa ryhmissä polkupyöraergometrilla. TN-ryhmän käytössä olevien polkupyöraergometrien mallit olivat Monark LC4 (Monark Exercise AB, Vansbro, Ruotsi) ja Ergoselect 100 (Ergoline GmbH, Bitz, Saksa). C-ryhmän käyttämät polkupyöraergometrit olivat malliltaan Monark 839E (Monark Exercise AB, Vansbro, Ruotsi).

Harjoitusjakson kesto oli seitsemän viikkoa, ja jokainen tutkittava teki sen aikana yhteensä 20 – 21 harjoitusta (kolme/viikko). Harjoituskertojen välillä tuli olla päivän tauko. Jokaisen viikon tuli sisältää kolme erilaista harjoituskertaa, mutta niiden keskinäinen järjestys oli tutkittaville vapaavalintainen. Harjoitusten teho määritettiin prosentteina  $W_{max_{pre}}$ :sta. Jokaisen harjoituskerran alussa tutkittavat suorittivat viiden minuutin alkuverryttelyn pyöräillen 30 – 50 W vastuksella. Varsinaisen harjoituksen aikana tutkittavia ohjeistettiin pitämään poljinkierrokset välillä 60 – 80 rpm. Lisäksi heitä neuvottiin laskemaan vastusta, mikäli he eivät pystyneet suorittamaan harjoitusta ennakkoon annetulla vastuksella. Erilaisten harjoituskertojen sisällöt ja niiden muutos harjoitusjakson aikana käyvät ilmi taulukosta 1.

TAULUKKO 1. Erilaisten harjoituskertojen sisällöt ja niiden muutokset interventiojakson aikana.

Harjoituksen tyyppi	teho (% $W_{max_{pre}}$ )	toiston pituus (min:s)	toistojen määrä	palautus (min:s)
Viikot 1-2				
pitkä	80	05:00	3	02:30
keskipitkä	90	02:00	4	02:00
lyhyt	100	00:30	6	00:30
Viikot 3-4				
pitkä	80	06:00	3	03:00
keskipitkä	90	02:00	6	02:00
lyhyt	105	00:30	8	00:30
Viikot 5-6				
pitkä	85	06:00	4	03:00
keskipitkä	95	02:00	8	02:00
lyhyt	120	00:40	10	00:20
Viikko 7				
pitkä	85	07:00	4	03:30
keskipitkä	95	02:00	10	02:00
lyhyt	130	00:40	12	00:20

## 9.6 Tilastolliset analyysit

Tilastolliset analyysit tehtiin SPSS 26.0 -ohjelmalla (SPSS Inc, Chicago, IL, USA). Jakaumien normaaliutta testattiin Shapiro-Wilkin testillä. Normaalisti jakautuneiden muuttujien osalta ryhmien välistä eroa tarkasteltiin riippumattomien otosten t-testillä, ja muutosta PRE- ja POST-mittausten välillä parillisten otosten t-testillä. Niiden muuttujien osalta, jotka eivät olleet normaalisti jakautuneita, tarkastelut tehtiin vastaavasti Mann-Whitney U-testillä ja Wilcoxonin testillä.



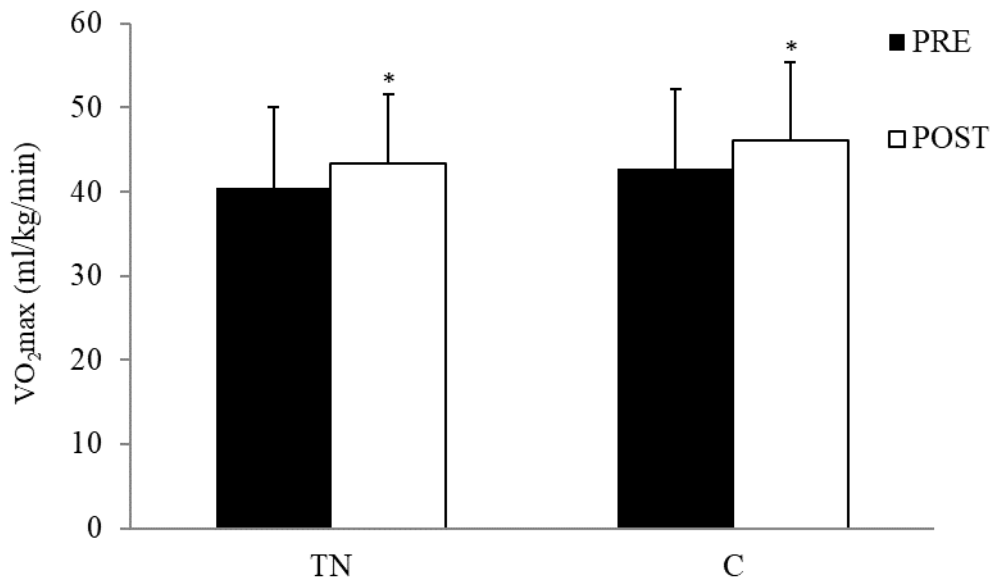
## 10 TULOKSET

Alkutilanteessa (PRE) ryhmät TN ja C eivät eronneet merkittävästi toisistaan maksimaalisen hapenottokyvyn ( $VO_2\max$ ), maksimaalisen rasvojen hapetuksen (MFO) tai sen intensiteetin osalta, jolla MFO saavutettiin ( $Fat_{\max}$ ).  $VO_2\max$  kehittyi intervention aikana merkittävästi molemmissa ryhmissä. MFO kehittyi merkittävästi koko aineistossa ja ryhmässä TN, mutta ei ryhmässä C.  $Fat_{\max}$  ei muuttunut merkittävästi kummassakaan ryhmässä.

### 10.1 $VO_2\max$

Ryhmien TN ja C välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa  $VO_2\max$ :ssa PRE- tai POST-mittauksissa.  $VO_2\max$  oli ryhmällä TN PRE-mittauksissa keskimäärin  $40,51 \pm 9,47$  ml/kg/min, ja POST-mittauksissa  $43,29 \pm 8,25$  ml/kg/min. Ryhmän TN  $VO_2\max$  oli POST-mittauksissa  $2,78 \pm 2,81$  ml/kg/min suurempi, kuin PRE-mittauksissa ( $p < 0,05$ ).

$VO_2\max$  oli ryhmällä C PRE-mittauksissa keskimäärin  $42,77 \pm 9,45$  ml/kg/min, ja POST-mittauksissa  $46,09 \pm 9,23$  ml/kg/min. Ryhmän C  $VO_2\max$  oli POST-mittauksissa  $3,32 \pm 3,57$  ml/kg/min suurempi, kuin PRE-mittauksissa ( $p < 0,05$ ). Ryhmien  $VO_2\max$ -arvot PRE- ja POST-mittauksissa on esitetty kuvassa 2.

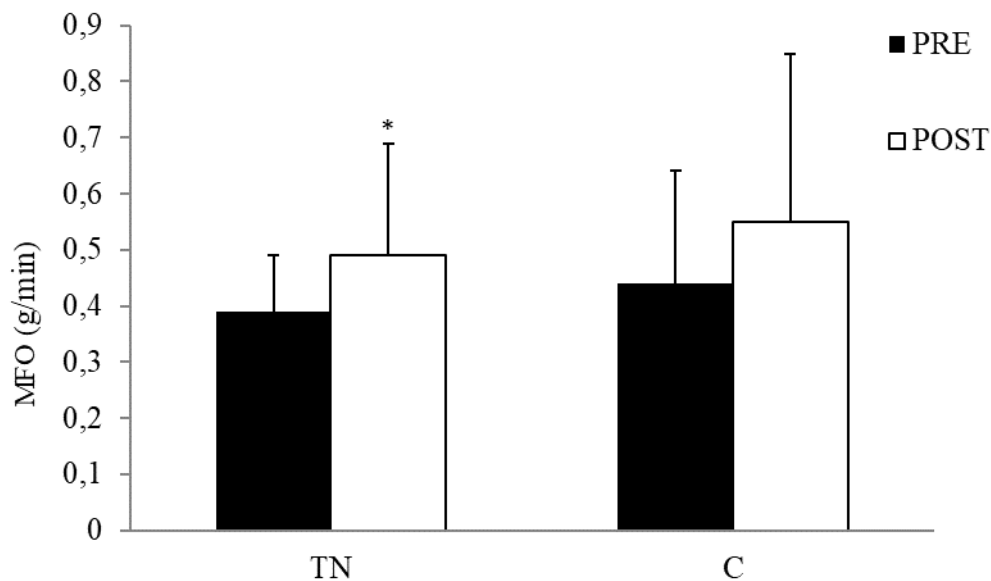


KUVA 2. Maksimaalinen hapenotto (VO<sub>2</sub>max) ryhmissä TN ja C ennen seitsemän viikon intervalliharjoitteluinterventiota (PRE) ja intervention jälkeen (POST). \* p < 0,05 tilastollisesti merkitsevä ero mittausajankohtien välillä.

## 10.2 MFO

MFO oli ryhmällä TN PRE-mittauksissa keskimäärin  $0,39 \pm 0,14$  g/min. POST-mittauksissa ryhmän TN MFO oli keskimäärin  $0,49 \pm 0,18$  g/min. Ryhmän TN MFO oli POST-mittauksissa  $0,10 \pm 0,18$  g/min suurempi, kuin PRE-mittauksissa ( $p < 0,05$ ).

MFO oli ryhmällä C PRE-mittauksissa keskimäärin  $0,44 \pm 0,21$  g/min, ja POST-mittauksissa  $0,55 \pm 0,31$  g/min. Ryhmän C MFO ei muuttunut tilastollisesti merkitsevästi mittausten PRE ja POST välillä ( $p > 0,05$ ). Ryhmien MFO-arvot PRE- ja POST-mittauksissa on esitetty kuvassa 3.

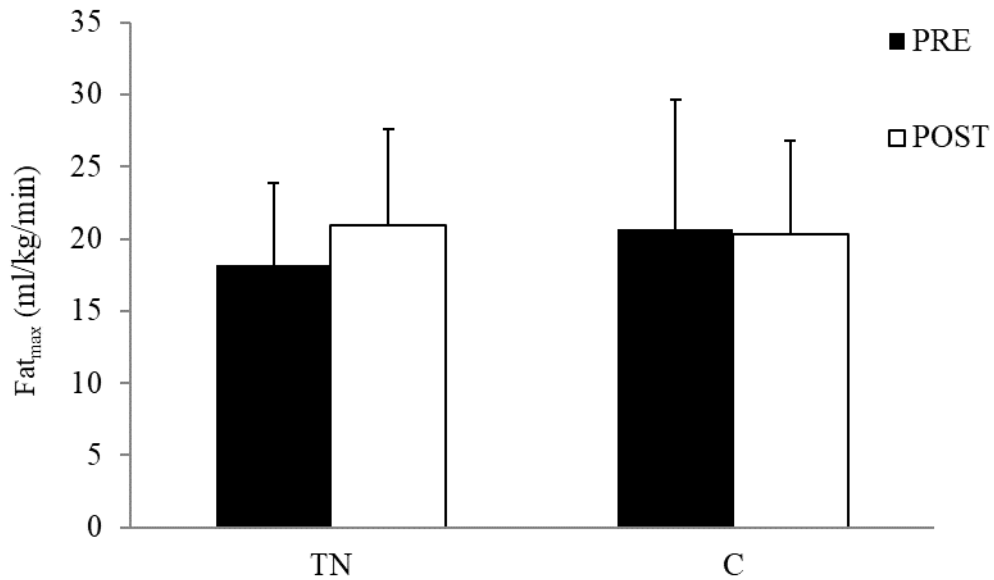


KUVA 3. Maksimaalinen rasvojen hapetus (MFO) ryhmissä TN ja C sekä koko otoksessa ennen seitsemän viikon intervalliharjoitteluinterventiota (PRE) ja intervention jälkeen (POST).  
\*  $p < 0,05$  tilastollisesti merkitsevä ero mittausajankohtien välillä.

### 10.3 Fat<sub>max</sub>

Fat<sub>max</sub> oli ryhmällä TN PRE-mittauksissa keskimäärin  $18,18 \pm 5,7$  ml/kg/min, ja POST-mittauksissa  $20,97 \pm 6,6$  ml/kg/min. Fat<sub>max</sub> oli ryhmällä C PRE-mittauksissa keskimäärin  $20,66 \pm 9,0$  ml/kg/min, ja POST-mittauksissa  $20,33 \pm 6,5$  ml/kg/min. Fat<sub>max</sub>% oli ryhmällä TN PRE-mittauksissa keskimäärin  $44,93 \pm 9,5$  %, ja POST-mittauksissa  $48,73 \pm 13,4$  %. Fat<sub>max</sub>% oli ryhmällä C PRE-mittauksissa keskimäärin  $47,21 \pm 11,9$  %, ja POST-mittauksissa  $43,41 \pm 7,5$  %.

Fat<sub>max</sub> ei muuttunut tilastollisesti merkitsevästi PRE- ja POST-mittausten välillä kummassakaan ryhmässä. Fat<sub>max</sub>% ei myöskään muuttunut tilastollisesti merkitsevästi. Ryhmien Fat<sub>max</sub> -arvot PRE- ja POST-mittauksissa on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Kuormitusintensiiteetti, jolla maksimaalinen rasvojen hapetus (MFO) saavutettiin (Fat<sub>max</sub>) ilmaistuna kehon massaan suhteutettuna hapenkulutuksena ryhmissä TN ja C ennen seitsemän viikon intervalliharjoitteluinterventiota (PRE) ja intervention jälkeen (POST).

## 11 POHDINTA

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia maksimaalisen rasvojen hapetuskyvyn (MFO) ja sen suhteellisen kuormitusintensiteetin, jolla MFO saavutetaan ( $Fat_{max}$ ), mahdollisia muutoksia intervalliharjoittelun seurauksena.  $Fat_{max}$ :n muutosta tarkasteltiin sekä absoluuttisena hapenkulutuksen arvona, että suhteutettuna  $VO_{2max}$ :iin. Lisäksi tarkasteltiin, muuttuvatko kyseiset arvot eri tavalla, jos harjoittelu tapahtuu kylmässä (C) tai termoneutraalissa (TN) ympäristössä.

### 11.1 Tulokset aiemman tutkimusnäytön valossa

Seitsemän viikon intervalliharjoittelujakson aikana MFO kehittyi TN-ryhmässä  $0,39 \pm 0,14$  g/min, mutta ryhmässä C ei havaittu merkittävää muutosta, joskin tilastollisesti merkitsemätön kehitys havaittiin.  $Fat_{max}$  ei kuitenkaan kehittynyt merkittävästi kummassakaan ryhmässä huolimatta  $VO_{2max}$ :n kasvusta molemmissa ryhmissä, joskin TN-ryhmässä havaittiin tilastollisesti merkitsemätön kasvu.

Tässä työssä määritetyt MFO-arvot tukivat molempien ryhmien osalta havaintoja, joita aiemmissa tutkimuksissa on tehty harjoitustaustan ja valitun liikuntamuodon vaikutuksista kyseiseen muuttujaan. Kehon rasvaton massa ja rasvamassa,  $VO_{2max}$ , sukupuoli ja itse raportoitu liikunta-aktiivisuus ennustavat MFO:ta (Venables ym. 2005), mikä voi osaltaan selittää eroja ja yhtäläisyyksiä tämän työn ja aiempien tutkimusten tulosten välillä.

Verrattuna muihin pyöräilytutkimuksiin PRE-testissä havaitut TN-ryhmän 0,39 g/min ja C-ryhmän 0,44 g/min MFO:t olivat lähellä esimerkiksi Bagleyn ym. (2016) havaitsemia MFO-arvoja (miehillä 0,41 g/min ja naisilla 0,31 g/min) ja sijoittuivat Nordbyn ym. (2006) harjoittelemattoman ja harjoitelleen ryhmän tulosten (vastaavasti 0,25 g/min ja 0,46 g/min) väliin. Verrattuna Achtenin ja Jeukendrupin (2003) vähintään kolme vuotta harjoitelleilla

pyöräilijöillä havaitsemaan 0,52 g/min, tässä työssä MFO oli molemmilla ryhmillä PRE-testeissä alhaisempi.

Bagleyn ym. (2016) tutkittavat olivat BMI:n, VO<sub>2</sub>max:n ja liikunta-aktiivisuuden osalta lähellä tämän työn tutkittavia, joten MFO-arvojen samankaltaisuus lähtötilanteessa ei ole yllättävää. Achtenin ja Jeukendrupin (2003) tutkittavien ja Nordbyn ym. (2006) harjoitelleen ryhmän keskimääräinen VO<sub>2</sub>max oli suurempi ja liikunta-aktiivisuus runsaampaa, ja lisäksi Nordbyn ym. (2006) harjoitelleessa ryhmässä kehon massa oli keskimäärin suurempi, kuin tämän työn tutkittavilla. Nordbyn ym. (2006) harjoittelemattoman ryhmän VO<sub>2</sub>max oli samaa luokkaa, kuin PRE-mittauksissa tässä työssä, mutta erona Nordbyn ym. (2006) kaikki tutkittavat olivat miehiä, mikä Venablesin ym. (2005) havaintojen mukaan voisi osin selittää keskimäärin korkeamman MFO:n tässä työssä.

Koska liikuntamuoto vaikuttaa MFO:hon (Filipovic ym. 2021), tulosten vertaaminen on mielekkäintä sellaisten asetelmien välillä, joissa liikuntamuoto on ollut sama. Tässä työssä määritetyt MFO-arvot olivat kuitenkin PRE-testeissä yllättävän samankaltaisia, kuin Venablesin ym. (2005) suuressa otoksessa (157 miestä ja 143 naista) juoksumatolla havaitsema 0,46 g/min. Samanlaisuudesta tekee yllättävän Achtenin ym. (2003) havainto, jonka mukaan pyöräilyssä MFO on keskimäärin alhaisempi (0,47 g/min), kuin kävelyssä tai juoksussa (0,65 g/min). Lisäksi Venablesin ym. (2005) tutkittavilla keskimääräinen kehon massa (76,2 kg), BMI (26) ja VO<sub>2</sub>max (46,3 ml/kg/min) eivät eronneet suuresti tämän työn tutkittavista, joten otosten samanlaisuuden perusteella tämän työn pyöräillen toteutetussa testissä olisi voitu odottaa alhaisempia MFO-arvoja, kuin Venablesin ym. (2005) tutkimuksessa. Toisaalta tutkimusten välillä saattoi olla eroavaisuuksia tutkittavien todellisessa liikunta-aktiivisuudessa. Lisäksi kaikkia MFO:hon vaikuttavia tekijöitä ei tunneta (Venables ym. 2005) ja eri testiprotokollat saattavat yli- tai aliarvioida sitä (Takagi ym. 2014).

Intervalliharjoittelun myötä MFO kasvoi sekä TN- että C-ryhmässä, joskin muutos oli tilastollisesti merkitsevä ainoastaan TN-ryhmässä. POST-mittauksissa molempien ryhmien keskimääräiset MFO:t olivat lähellä Achtenin ja Jeukendrupin (2003) pyöräilijöillä havaitsemia arvoja, ja ylittivät Nordbyn ym. (2006) harjoitelleen ryhmän keskimääräisen MFO:n. Vaikka

C-ryhmässä MFO:n kasvu ei ollut tilastollisesti merkitsevää, tässä työssä havaitut keskimääräiset muutokset MFO:ssa sopivat kuitenkin suuruusluokan puolesta aiempiin havaintoihin, ja tukevat Astorinon ja Schubertin (2017) havaintoja intervention sisällön ja keston vaikutuksista MFO:n kehitykseen. Koska tulosten vertailussa aiempiin tutkimuksiin ei kuitenkaan käytetty tilastollisia menetelmiä, joten erot ja yhtäläisyydet perustuvat ainoastaan keskiarvoihin, sivuuttaen tilastollisen merkitsevyyden.

Esimerkiksi Bagley ym. (2016) havaitsivat SIT-intervention aikana MFO:n kasvavan miehillä keskimäärin 0,08 g/min ja naisilla 0,03 g/min. Astorino ym. (2013) havaitsivat harjoittelemattomilla naisilla ja Alkahtani ym. (2013) vastaavasti ylipainoisilla miehillä sekä HIIT-harjoittelun (80 – 90 %  $W_{max_{pre}}$ ) että keskitehoisen (60 – 80 %  $W_{max_{pre}}$ ) intervalliharjoittelun kasvattavan MFO:ta. Astorinon ym. (2013) tutkimuksessa MFO:n keskimääräinen kasvu oli HIIT-ryhmässä 0,03 g/min ja keskitehoisen intervalliharjoittelun ryhmässä 0,02 g/min. Alkahtanin ym. (2013) tutkimuksessa vastaavat luvut olivat 0,08 g/min ja 0,04 g/min. Koska sekä HIIT- että SIT-harjoittelun on näin ollen havaittu kasvattavan MFO:ta, tässä työssä havaittu MFO:n kasvu yhdistetyn HIIT- ja SIT-intervention seurauksena on intervention sisällön puolesta ymmärrettävää.

Intervention kokonaiskesto ei näytä olevan merkittävä tekijä MFO:n kehittymisen kannalta, kun taas intervalliharjoittelun tyypillä lienee vaikutusta muuttuun. Lisäksi verrattaessa tämän työn tuloksia muihin tuloksiin myös lihasaktiivisuuteen käytetyllä kokonaisajalla näyttäisi olevan merkitystä. Bagleyn ym. (2016) käyttämän intervention lihastyöhön käytetty aika oli vain 48 minuuttia kahdessa viikossa, Alkahtanin ym. (2013) 75 minuuttia neljässä viikossa, Astorinon ym. (2013) 96 minuuttia kahdessa viikossa ja tämän työn 162 minuuttia seitsemässä viikossa. Astorino ym. (2013) havaitsivat lisäksi suurimman osan MFO:n kehityksestä tapahtuvan harjoittelun kolmen ensimmäisen viikon aikana. Intuitiivisesti pitempien ja intensiivisempien interventioiden voitaisiin olettaa edesauttavan MFO:n kasvua, mutta ainakaan Bagleyn ym. (2016) kahdentoista viikon SIT-intervention tulokset eivät näytä huomattavasti suuremmilta verrattuna kolmeen muuhun edellä mainittuun interventioon. Astorinon ja Schubertin (2017) katsauksen perusteella näyttääkin siltä, että HIIT-harjoittelu on mahdollisesti SIT-harjoittelua tehokkaampaa MFO:n kehittämisen kannalta, ja kehitys tapahtunee pääosin jo harjoittelun ensimmäisten viikkojen aikana.

Lihastyöhön käytetyllä kokonaisajalla saattaa olla positiivinen vaikutus MFO:n kehitykseen ottaen huomioon, että tämän työn TN-ryhmän tilastollisesti merkitsevä 0,10 g/min kasvu oli suurempaa, kuin Alkahtanin ym. (2013), Astorinon ym. (2013) ja Bagleyn ym. (2016) interventioissa, joissa lihastyöhön käytetty kokonaisaika oli lyhyempi. Tämä selittäisi osaltaan myös Astorinon ja Schubertin (2017) havaintoa HIIT-harjoittelun paremmuudesta SIT-harjoitteluun verrattuna MFO:n kehittämisessä ottaen huomioon, että SIT-harjoittelussa erittäin korkea intensiteetti asettaa HIIT-harjoittelua tiukemmat rajoitteet työjaksojen pituudelle ja harjoittelun kokonaisajalle.

Fat<sub>max</sub>:n määrittäminen prosentteina VO<sub>2</sub>max:sta (Fat<sub>max</sub>%) helpottaa tulosten vertailua aiempiin tutkimuksiin, sillä kyseinen raportointitapa on laajasti käytössä. Intervention aikana voidaan kuitenkin olettaa tapahtuvan kehitystä myös VO<sub>2</sub>max:ssa, minkä vuoksi tuloksia vertailtaessa tulisi erottaa toisistaan Fat<sub>max</sub>:n prosentuaalinen osuus harjoittelua edeltävästä ja harjoittelun jälkeisestä VO<sub>2</sub>max:sta, joskaan kaikissa tutkimuksissa eroa ei selkeästi tuoda ilmi. Tässä työssä ei kuitenkaan havaittu PRE- ja POST-mittausten välillä tilastollisesti merkitsevää muutosta kummassakaan ryhmässä tarkasteltaessa pelkkää Fat<sub>max</sub>:ia, tai Fat<sub>max</sub>%:ia huolimatta siitä, laskettiin Fat<sub>max</sub>% käyttäen PRE- vai POST-mittauksissa mitattua VO<sub>2</sub>max-arvoa.

Fat<sub>max</sub>%:n keskiarvo vaihteli ryhmien ja mittausten välillä C-ryhmän POST-testissä havaitusta 43,41 %:sta TN-ryhmän POST-mittausten 48,73 %:iin. Arvot ovat lähellä aiemmissa tutkimuksissa tavoitteellisesti harjoittelemattomilla havaittuja arvoja. Fat<sub>max</sub>% on havaittu olevan esimerkiksi Bagley ym. (2016) tutkimuksessa miehillä keskimäärin 51,4 % ennen harjoittelua, Nordbyn ym. (2006) tutkimuksen harjoittelemattomilla 43,5 % ja Venablesin ym. (2005) 300 henkilön otoksessa keskimäärin 48 %. Harjoitelleilla on puolestaan havaittu sekä saman suuruusluokan arvoja, kuten Nordbyn ym. (2006) tutkimuksen harjoitelleiden 49,9 %, että korkeampia arvoja, kuten Achtenin ja Jeukendrupin (2003) tutkimuksen pyöräilijöiden 62,5 %.

Kestävyysharjoitelleilla henkilöillä on havaittu korkeampia Fat<sub>max</sub>-arvoja, kuin harjoittelemattomilla (Nordby ym. 2006; Purdom ym. 2018). Lisäksi Achten ja Jeukendrup (2003) havaitsivat Fat<sub>max</sub>%:n olevan riippumaton VO<sub>2</sub>max:sta harjoitelleista henkilöistä



koostuvassa otoksessa, ja intervalliharjoittelun on havaittu kasvattavan  $VO_{2max}$ :ia (Gibala ym. 2012), joten intervalliharjoittelun tulisi kehittää myös  $Fat_{max}$ :ia. Syynä siihen, miksi  $Fat_{max}$ :n kohdalla ei havaittu kehitystä, vaikka  $VO_{2max}$  kehittyi, voi olla myös  $Fat_{max}$ :n suurempi päivittäinen vaihtelu. Achten ja Jeukendrup (2003) havaitsivat  $Fat_{max}$ :n variaatiokerroimen olevan 9,6 %, mikä on suurempi, kuin  $VO_{2max}$ :n vastaava (alle 5 %). Näin ollen merkittävän kehityksen puuttuminen  $Fat_{max}$ :n osalta saattoi johtua kyseisen muuttujan suuremmasta vaihtelusta testikertojen välillä. Toisaalta tässä työssä havaittu  $Fat_{max}$ :n merkittävien muutosten puuttuminen on linjassa Maunderin ym. (2018) katsauksen kanssa, jossa  $Fat_{max}$ :n havaittiin useimmissa harjoittelututkimuksissa pysyneen ennallaan.

MFO:n kasvu PRE- ja POST-mittausten välillä oli tilastollisesti merkitsevää ainoastaan ryhmässä TN. Aiempien kylmäaltistuksen ja harjoittelun yhteisvaikutusta käsittelevien tutkimustulosten vähäinen määrä tekee eron selittämisestä jokseenkin spekulatiivista. Perry ym. (2008) havaitsivat, että HIIT-harjoittelu, jolla saavutettiin rasvojen hapetuksen tehostumista vakioitehoisessa absoluuttisessa kuormituksessa, aiheutti lihasnäytteessä eräiden rasvojen käyttöön liittyvien entsyymien (muiden muassa  $\beta$ -HAD ja FAT/CD36) lisääntymistä. Ristiriitaisesti tämän työn tulosten kanssa, hiirillä FAT/CD36:a vastaavan proteiinin (CD36) määrän on havaittu kasvavan kylmäaltistuksen seurauksena (Schulz ym. 2011). Samoin  $\beta$ -HAD:n määrän on havaittu olevan vähäisempi tavallista lämpimämmässä oloissa kasvatetuilla sioilla, kuin tavanomaisessa lämpötilassa kasvatetuilla verrokeilla (Zhao ym. 2018). Näin ollen eläinkokeiden valossa kyseisten entsyymien osalta harjoitusvaikutuksen olisi tullut olla vähintään yhtä suuri C-, kuin TN-ryhmässä.

## 11.2 Menetelmien kriittinen tarkastelu

Kuten useimmissa intervalliharjoittelututkimuksissa (Astorino & Schubert 2017), tässäkin työssä ei käytetty passiivista kontrolliryhmää. Astorino ym. (2017b) havaitsivat, että kontrolliryhmää käytettäessä muutoin aiemman tutkimuksen (Bagley ym. 2016) kanssa linjassa olleet intervalliharjoittelun aikana tapahtuneet parannukset MFO:ssa osoittautuvat tilastollisesti

merkitsemättömiksi. Syyksi Astorino ym. (2017b) esittivät rasvojen hapetuksen runsasta päivittäistä vaihtelua ja herkkyyttä useille tekijöille, kuten ravitsemustilalle. Astorino ym. (2017b) suosittelivat havaintojensa pohjalta jatkossa ruokailun vakiointia ja fyysisen aktiivisuuden välttämistä 48 tuntia ennen mittauksia. Tässä työssä ruokailujen vakiointiin käytettiin ruokapäiväkirjaa, joten tutkittavien oma huolellisuus on saattanut vaikuttaa vakioinnin tasoon. Liikunnan osalta tutkittavia kehoitettiin välttämään raskasta kuormitusta mittauspäivänä ennen mittauksia, mutta on mahdollista, etteivät kaikki tutkittavat täysin noudattaneet suositusta.

Venablesin ym. (2005) kolmellasadalla tutkittavalla MFO vaihteli välillä 0,18 – 1,01 g/min ja  $Fat_{max}\%$  välillä 25 – 77 %  $VO_{2max}$ , ja MFO:n vaihtelusta ainoastaan 34 % pystyttiin selittämään itseraportoidun fyysisen aktiivisuuden, rasvattoman massan, rasvamassan sukupuolen ja  $VO_{2max}$ :n avulla (Venables ym. 2005). Koska MFO:n ja  $Fat_{max}$ :n vaihtelu on täten suurta ja muuttujat ovat alttiita useille tekijöille, joista kaikkia ei ole tunnistettu, saati kvantifioitu, tässä työssä ilman passiivista kontrolliryhmää tehtyjen havaintojen tulkitseminen harjoittelun aikaansaamaksi on jossain määrin kyseenalaista.

Meyer ym. (2009) nostivat esiin myös vuorokauden- ja vuodenajan  $Fat_{max}$ :iin mahdollisesti vaikuttavina tekijöinä. Harjoitusjakso toteutettiin loka – joulukuussa, jolloin Oulun tasolla pohjoisessa valon määrä ja ulkolämpötila laskevat merkittävästi. Eri puolilla maailmaa on tehty sekä subjektiivisiin että objektiivisiin tiedonkeruumenetelmiin perustuvia havaintoja, joiden mukaan liikunta-aktiivisuus ja energiankulutus ovat kehittyneissä maissa vähäisempiä talvella, kuin kesällä (Shephard & Aoyagi 2009). Näin ollen intervention mahdollisesti aikaansaama  $Fat_{max}$ :n kasvu on voinut kumoutua vuodenajan aiheuttamien liikunta-aktiivisuuden muutosten vuoksi.

Vaikka tässä työssä kaikki tutkittavat harjoittelivat samoilla prosentuaalisilla intensiteeteillä suhteessa  $W_{max_{pre}}$ :hen, jotkin tekijät ovat voineet vaikuttaa harjoitusten aiheuttamaan sisäiseen kuormitukseen ja sitä kautta elimistön adaptaatioihin. Koska harjoitusintensiteetti määritettiin alkutestien nousujohteisen kuormitustestin korkeimman loppuun asti suoritettun kuormitusportaan tehon ( $W_{max_{pre}}$ ) mukaan, ja nousujohteisessa kuormitustestissä intensiteettiä

alettiin nostamaan jyrkemmin RER:n saavutettua arvon 1,00, on mahdollista, että ne henkilöt joilla RER kasvoi jyrkästi, ehtivät testin aikana saavuttaa korkeampia tehoja ja siten päätyivät myös harjoittelemaan keskimäärin korkeammilla intensiteeteillä kuin henkilöt, joilla RER pysyi alkutestissä pitempään alhaisena.

Youngin (1990) mukaan kylmässä sama ulkoinen intensiteetti voi vastata suurempaa prosentuaalista osuutta maksimaalisesta hapenottokyvystä, kuin huoneenlämmössä. Edellytyksenä on kuitenkin kehon sisälämpötilan lasku (Young 1990). Tässä työssä kylmäaltistus tuskin oli riittävä laskemaan kehon sisälämpötilaa, mutta mittaustulosten puuttuessa ei voida sulkea pois mahdollisuutta, että huoneen lämmössä toteutetun alkutestin perusteella määritetyt harjoituskuormat olisivat aineenvaihdunnallisesti vastanneet suurempaa osuutta  $VO_2max$ :sta C- kuin TN-ryhmässä.

HIIT- ja SIT-harjoittelun käyttäminen harjoitusinterventiona ei ole täysin ongelmaton tutkittaessa ympäristön lämpötilan vaikutuksia harjoitusvasteisiin. Aiemmat tutkimukset, joissa kylmän ympäristön on havaittu vaikuttavan akuutisti kuormituksen aikaan aineenvaihduntaan, ovat perustuneet yksinomaan yhtäjaksoisiin kuormituksiin, joiden intensiteetti on ollut verrattain matala, tyypillisesti 50 % – 70 %  $VO_2max$ :sta (Febbraio ym. 1996; Gagnon ym. 2013). Koska tässä työssä käytettyjen kuormitusjaksojen intensiteetit vaihtelivat välillä 80 % – 130 %  $W_{max_{pre}}$ , ei aiempien tulosten perusteella voida tehdä kovinkaan voimakkaita oletuksia kylmän ympäristön vaikutuksista tässä työssä käytettyjen kuormitusjaksojen aikaansaamiin vasteisiin. Onkin mahdollista, että tässä työssä käytetyt intensiteetit kuuluvat käytetyn 0 °C lämpötilan suhteen ohjeelliselle alueelle, ja aiemmissa matalampia intensiteettejä käyttäneissä tutkimuksissa tilanne olisi puolestaan ollut toinen. Riippumatta siitä, tutkitaanko lämpötilan vaikutuksia akuutteihin vai kroonisiin vasteisiin, voisi tutkimuksissa olla perusteltua käyttää asetelmia, joissa kylmässä tapahtuva kuormitus toteutetaan ohjeellisen alueen alapuolella, koska tällöin saadaan todennäköisemmin tuotua esiin mahdolliset lämpötilojen väliset erot kuormituksen aikaansaamissa vasteissa (Young 1990).

Tutkimuksissa tavattujen menetelmäerojen (vrt. esim. Alkahtani ym. (2013) ja Astorino ym. (2013)) vuoksi tässäkin työssä jouduttiin tekemään valintoja MFO:n ja  $Fat_{max}$ :n määrittystapojen

kohdalla. MFO:n ja  $Fat_{max}$ :n määrittämiseen päädyttiin käyttämään harjoittelemattomille henkilöille sovellettua versiota Achtenin ym. (2002) kehittämästä testistä. Kyseisen menetelmän soveltuvuutta harjoittelun seurantaan on kuitenkin kritisoitu (Meyer ym. 2009) johtuen etenkin  $Fat_{max}$ :n suuresta päivittäisestä vaihtelusta (Achten & Jeukendrup 2003, Meyer ym. 2009). Lisäksi on mahdollista, että Achtenin ym. (2002) esittämässä menetelmässä edeltävät kuormitusportaat aiheuttavat muutoksia seuraavien kuormitusportaiden aikaisiin vasteisiin, jolloin  $Fat_{max}$ :n määrittämisessä olisi parempi käyttää erillisiä, vähintään kuuden minuutin pituisia kuormitusjaksoja (Meyer ym. 2007)

Vaikka Meyerin ym. (2007) ehdottama menetelmä voi olla täsmällisempi, tässä työssä Achtenin ym. (2002) menetelmän soveltamista puolsi kolme seikkaa: Mittausten määrä oli suuri ja aikataulu tiivis, jolloin käytännön syistä oli mielekkäämpää käyttää vähemmän aikaa vievää menetelmää. Lisäksi kyseessä oli harjoittelututkimus, jonka päätarkoituksena ei ollut määrittää täsmällisesti tutkittavien yksilöllisiä MFO- ja  $Fat_{max}$  -arvoja, vaan havaita keskimääräisiä muutoksia. Kolmanneksi tässä työssä ei määritetty  $Fat_{max}$ :ia ulkoisen tehon, vaan hapenkulutuksen suhteen, jolloin MFO:n paikantaminen tietylle kuormitusportaalalle tai teholle ei ollut välttämätöntä. Takagi ym. (2014) havaitsivatkin nousujohteisten kuormitustestien olevan ajankäytöllisesti tehokkaita sekä riittävän täsmällisiä MFO:n selvittämisessä erityisesti, kun otos on suuri ja koostuu terveistä ja fyysisesti aktiivisista henkilöistä.

Tässä työssä MFO etsittiin määrittämällä  $FOx$  kullakin ajanhetkellä mitattuihin hengityskaasuihin perustuen. Matemaattisten mallien (tarkemmin sini- tai kolmannen asteen polynomikäyrän sovitusta) pidetään yleisesti tarkempina menetelminä  $FOx$ :n määrittämisessä, kuin mitattujen arvojen käyttämistä (Astorino & Schubert 2017). Kuitenkin esimerkiksi Gagnon ym. (2020) käyttivät MFO:n ja  $Fat_{max}$ :n löytämiseen mitattuja arvoja, ja kritisoivat matemaattisten mallien taipumusta antaa rasvojen hapetusta kuvaavalle käyrälle ennalta määrätyn muodon, joka ei aina ole todenmukainen, vaan perustuu vanhempien tutkimustulosten (Brooks & Mercier 1994) varaan rakennettuihin oletuksiin. Gagnon ym. (2020) havaitsivatkin mitattuja arvoja käyttämällä rasvojen hapetuksen noudattavan toisinaan Venablesin ym. (2005) kuvaaman alaspäin aukeavan paraabelin sijaan laskevaa suoraa. Myös tässä työssä havaittiin osalla tutkittavista MFO jo ensimmäisen tai toisen kuorman aikana, mikä viittaa siihen, ettei rasvojen hapetus kaikissa tapauksissa kasvanut lainkaan kuormitusintensiteetin myötä.

### 11.3 Johtopäätökset

Korkeatehoinen intervalliharjoittelu kolmesti viikossa seitsemän viikon ajan näyttää aiempia tutkimustuloksia (Astorino & Schubert 2017) tukien kehittävän MFO:ta ilman muutoksia  $Fat_{max}$ :ssa. Vaikka aiemmissä tutkimuksissa on havaittu kylmän vaikuttavan akuutisti liikunnan aikaiseen aineenvaihduntaan mahdollisesti rasvojen käyttöä edesauttavasti (Febbraio ym. 1996; Gagnon ym. 2013), ei harjoittelusta kylmässä ympäristössä näytä tämän työn perusteella olevan ainakaan etua MFO:n tai  $Fat_{max}$ :n kehittämässä, vaan pikemminkin kylmä ympäristö saattaa heikentää toivottujen adaptaatioiden kehitystä verrattuna harjoitteluun lämpimässä ympäristössä. Ero kylmässä ja lämpimässä harjoitteluiden kehityksessä oli kuitenkin varsin pieni.

Lisäksi tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, ettei HIIT- ja SIT-harjoittelua koskevia tuloksia voida soveltaa suoraan esimerkiksi matalatehoiseen yhtäjaksoiseen harjoitteluun. MFO:n ja  $Fat_{max}$ :n suuren yksilöllisen ja yksilöiden välisen vaihtelun vuoksi jatkossa rasva-aineenvaihdunnan ja harjoittelun yhteyden tutkimuksessa tulisi pyrkiä käyttämään kontrolliryhmiä, tunnistamaan ja vakioimaan entistä tehokkaammin rasva-aineenvaihdunnan tunnuslukuihin harjoittelun ohella vaikuttavia sekoittavia tekijöitä sekä yhdenmukaistamaan testauskäytäntöjä.

## LÄHTEET

- Achten, J., Gleeson, M. & Jeukendrup, A. E. 2002. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34 (1), 92–97.
- Achten, J. & Jeukendrup, A. E. 2001. Fatmax : A new concept to optimize fat oxidation during exercise? *European Journal of Sport Science* 1 (5), 1–5.
- Achten, J. & Jeukendrup, A. E. 2003. Maximal Fat Oxidation During Exercise in Trained Men. *International Journal of Sports Medicine* 24 (8), 603–608.
- 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.
- Alba, B. K., Castellani, J. W. & Charkoudian, N. 2019. Cold-induced cutaneous vasoconstriction in humans: Function, dysfunction and the distinctly counterproductive. *Experimental Physiology* 104 (8), 1202–1214.
- Alkahtani, S. A., King, N. A., Hills, A. P., & Byrne, N. M. 2013. Effect of interval training intensity on fat oxidation, blood lactate and the rate of perceived exertion in obese men. *SpringerPlus* 2 (1), 532.
- Astorino, T. A., Schubert, M. M., Palumbo, E., Stirling, D., & McMillan, D. W. 2013. Effect of Two Doses of Interval Training on Maximal Fat Oxidation in Sedentary Women. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 45 (10), 1878–1886.
- Astorino, T. A., & Schubert, M. M. 2017. Changes in fat oxidation in response to various regimes of high intensity interval training (HIIT). *European Journal of Applied Physiology* 118 (1), 51–63.
- Astorino, T. A., Bandong, J., Clark, A., Edmunds, R. M., Gallant, R., Heath, B., King, L., Montell, M. & Ordille, G. M. 2017b. Change in maximal fat oxidation in response to different regimes of periodized high-intensity interval training (HIIT). *European Journal of Applied Physiology* 117 (4), 745–755.
- Bagley, L., Slevin, M., Bradburn, S., Liu, D., Murgatroyd, C., Morrissey, G., Carroll, M., Piasecki, M., Gilmore, W. S. & McPhee, J. S. 2016. Sex differences in the effects of 12 weeks sprint interval training on body fat mass and the rates of fatty acid oxidation and VO<sub>2</sub>max during exercise. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine* 2 (1), e000056.

- Beelen, A. & Sargeant, A. J. 1991. Effect of lowered muscle temperature on the physiological response to exercise in men. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 63 (5), 387–392.
- Blondin, D. P., & Haman, F. 2018. Shivering and nonshivering thermogenesis in skeletal muscles. *Handbook of clinical neurology*, 156, 153–173.
- Brooks, G. A. & Mercier, J. 1994. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *Journal of applied physiology* 76 (6), 2253-2261.
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., MacDonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. 2008. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The Journal of physiology* 586 (1), 151–160.
- Canadian Society for Exercise Physiology. 2017. Get Active Questionnaire. Viitattu 7.6.2021. [https://www.csep.ca/CMFiles/GAQ\\_CSEPPATHReadinessForm\\_2pages.pdf](https://www.csep.ca/CMFiles/GAQ_CSEPPATHReadinessForm_2pages.pdf)
- Carter, S. L., Rennie, C., & Tarnopolsky, M. A. 2001. Substrate utilization during endurance exercise in men and women after endurance training. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism* 280 (6), 898–907.
- Coyle, E. F. 1995. Substrate utilization during exercise in active people. *The American journal of clinical nutrition* 61 (4), 96 –979.
- Coyle, E. F., Jeukendrup, A. E., Wagenmakers, A. J., & Saris, W. H. 1997. Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 273 (2), 268–275.
- Crampes, F., Beauville, M., Riviere, D., & Garrigues, M. 1986. Effect of physical training in humans on the response of isolated fat cells to epinephrine. *Journal of Applied Physiology* 61 (1), 25–29.
- Daanen, H. A. M., & Van Marken Lichtenbelt, W. D. 2016. Human whole body cold adaptation. *Temperature* 3 (1), 104–118.
- Doubt, T. J. 1991. Physiology of Exercise in the Cold. *Sports Medicine* 11 (6), 367–381.
- Esséen, B. 1977. Intramuscular substrate utilization during prolonged exercise. *Annals of the New York Academy of Sciences* 301 (1), 30–44.
- Febbraio, M., Snow, R., Stathis, C., Hargreaves, M., & Carey, M. 1996. Blunting the rise in body temperature reduces muscle glycogenolysis during exercise in humans. *Experimental Physiology* 81 (4), 685–693.

- Filipovic, M., Munten, S., Herzig, K. H., & Gagnon, D. D. 2021. Maximal Fat Oxidation: Comparison between Treadmill, Elliptical and Rowing Exercises. *Journal of sports science & medicine* 20 (1), 170–178.
- Gagnon, D. D., Perrier, L., Dorman, S. C., Oddson, B., Larivière, C., & Serresse, O. 2020. Ambient temperature influences metabolic substrate oxidation curves during running and cycling in healthy men. *European journal of sport science* 20 (1), 90–99.
- Gagnon, D. D., Rintamäki, H., Gagnon, S. S., Cheung, S. S., Herzig, K.-H., Porvari, K., & Kyröläinen, H. 2013a. Cold exposure enhances fat utilization but not non-esterified fatty acids, glycerol or catecholamines availability during submaximal walking and running. *Frontiers in Physiology* 4, 99.
- Gagnon, D. D., Rintamäki, H., Gagnon, S. S., Oksa, J., Porvari, K., Cheung, S. S., Herzig, K.-H. & Kyröläinen, H. 2013b Fuel selection during short-term submaximal treadmill exercise in the cold is not affected by pre-exercise low-intensity shivering. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 39 (3), 282–291.
- Gibala, M. J., Little, J. P., MacDonald, M. J., & Hawley, J. A. 2012. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of physiology* 590 (5), 1077–1084.
- Haman, F., Péronnet, F., Kenny, G. P., Massicotte, D., Lavoie, C., Scott, C., & Weber, J. M. 2002. Effect of cold exposure on fuel utilization in humans: plasma glucose, muscle glycogen, and lipids. *Journal of Applied Physiology* 93 (1), 77–84.
- Hill, A. V., Long, C. N. H. & Lupton, H. 1924. Muscular Exercise, Lactic Acid and the Supply and Utilisation of Oxygen. *Proceedings of the Royal Society of London B* 97, 155–176.
- Holloszy, J. O., & Coyle, E. F. 1984. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of applied physiology* 56 (4), 831–838.
- Horowitz, J. F., & Klein, S. 2000. Lipid metabolism during endurance exercise. *The American journal of clinical nutrition* 72 (2), 558–563.
- Hurley, B. F., Nemeth, P. M., Martin, W. H., Hagberg, J. M., Dalsky, G. P., & Holloszy, J. O. 1986. Muscle triglyceride utilization during exercise: effect of training. *Journal of Applied Physiology* 60 (2), 562–567.
- Jeukendrup, A. E., & Wallis, G. A. 2005. Measurement of Substrate Oxidation During Exercise by Means of Gas Exchange Measurements. *International Journal of Sports Medicine* 26 (1), 28–37



- Kiens, B., Essen-Gustavsson, B., Christensen, N. J., & Saltin, B. 1993. Skeletal muscle substrate utilization during submaximal exercise in man: effect of endurance training. *The Journal of Physiology* 469 (1), 459–478.
- Koivisto, V., Hendler, R., Nadel, E., & Felig, P. 1982. Influence of physical training on the fuel-hormone response to prolonged low intensity exercise. *Metabolism*, 31 (2), 192–197.
- Korhonen, I. 2006. Blood pressure and heart rate responses in men exposed to arm and leg cold pressor tests and whole-body cold exposure. *International Journal of Circumpolar Health*, 65 (2), 178–184.
- Krogh, A., & Lindhard, J. 1920. The relative value of fat and carbohydrate as sources of muscular energy: with appendices on the correlation between standard metabolism and the respiratory quotient during rest and work. *Biochemical Journal* 14 (3–4), 290–363.
- Layden, J. D., Patterson, M. J., & Nimmo, M. A. 2002. Effects of reduced ambient temperature on fat utilization during submaximal exercise. *Medicine and science in sports and exercise* 34 (5), 774–779.
- Layden, J. D., Malkova, D., & Nimmo, M. A. 2004a. During exercise in the cold increased availability of plasma nonesterified fatty acids does not affect the pattern of substrate oxidation. *Metabolism* 53 (2), 203–208.
- Layden, J. D., Malkova, D., & Nimmo, M. A. 2004b. Fat oxidation after acipimox-induced reduction in plasma nonesterified fatty acids during exercise at 0°C and 20°C. *Metabolism* 53 (9), 1131–1135.
- Martin, W. H., Dalsky, G. P., Hurley, B. F., Matthews, D. E., Bier, D. M., Hagberg, J. M., Rogers, M. A., King, D. S. & Holloszy, J. O. 1993. Effect of endurance training on plasma free fatty acid turnover and oxidation during exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 265 (5), E708–E714.
- Maunder, E., Plews, D. J., & Kilding, A. E. 2018. Contextualising Maximal Fat Oxidation During Exercise: Determinants and Normative Values. *Frontiers in Physiology* 9, doi:10.3389/fphys.2018.00599
- Melzer, K. 2011. Carbohydrate and fat utilization during rest and physical activity. *e-SPEN, the European e-Journal of Clinical Nutrition and Metabolism* 6 (2), e45–e52.

- Meyer, T., Gäßler, N., & Kindermann, W. 2007. Determination of “Fatmax” with 1 h cycling protocols of constant load. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* 32 (2), 249–256.
- Meyer, T., Folz, C., Rosenberger, F., & Kindermann, W. 2009. The reliability of fatmax. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 19 (2), 213–221.
- Nordby, P., Saltin, B., & Helge, J. W. 2006. Whole-body fat oxidation determined by graded exercise and indirect calorimetry: a role for muscle oxidative capacity? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 16 (3), 209–214.
- Peronnet, F., & Massicotte, D. 1991. Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Canadian Journal of Sport Science* 16 (1), 23–29.
- Perry, C. G. R., Heigenhauser, G. J. F., Bonen, A., & Spriet, L. L. 2008. High-intensity aerobic interval training increases fat and carbohydrate metabolic capacities in human skeletal muscle. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 33 (6), 1112–1123.
- Purdom, T., Kravitz, L., Dokladny, K., & Mermier, C. 2018. Understanding the factors that effect maximal fat oxidation. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 15 (1), 1–10.
- Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E., & Wolfe, R. R. 1993. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 265 (3), 380–391.
- Schulz, N., Himmelbauer, H., Rath, M., van Weeghel, M., Houten, S., Kulik, W., Suhre, K., Scherneck, S., Vogel, H., Kluge, R., Wiedmer, P., Joost, H.-G. & Schürmann, A. 2011. Role of Medium- and Short-Chain L-3-Hydroxyacyl-CoA Dehydrogenase in the Regulation of Body Weight and Thermogenesis. *Endocrinology* 152 (12), 4641–4651.
- Shephard, R. J., & Aoyagi, Y. 2009. Seasonal variations in physical activity and implications for human health. *European Journal of Applied Physiology* 107 (3), 251–271.
- Takagi, S., Sakamoto, S., Midorikawa, T., Konishi, M., & Katsumura, T. 2014. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation in short-time testing. *Journal of sports sciences* 32 (2), 175–182.
- Talanian, J. L., Galloway, S. D. R., Heigenhauser, G. J. F., Bonen, A., & Spriet, L. L. 2007. Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat

- oxidation during exercise in women. *Journal of Applied Physiology* 102 (4), 1439–1447.
- Vallerand, A. L., & Jacobs, I. 1989. Rates of energy substrates utilization during human cold exposure. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 58 (8), 873–878.
- Venables, M. C., Achten, J., & Jeukendrup, A. E. 2005. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *Journal of Applied Physiology* 98 (1), 160–167.
- Young, A. J. 1990. Energy substrate utilization during exercise in extreme environments. *Exercise and sport sciences reviews* 18 (1), 65–118.
- Young, A. J., Sawka, M. N., Levine, L., Burgoon, P. W., Latzka, W. A., Gonzalez, R. R., & Pandolf, K. B. 1995. Metabolic and thermal adaptations from endurance training in hot or cold water. *Journal of Applied Physiology* 78 (3), 793–801.
- Zhao, L. D., McMillan, R. P., Xie, G., Giridhar, S. G. L. W., Baumgard, L. H., El-Kadi, S. W., Selsby, J., Ross, J., Gabler, N., Hulver, M. W. & Rhoads, R. P. 2018. Heat stress decreases metabolic flexibility in skeletal muscle of growing pigs. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 315: 1096–1106.